



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

DEPARTAMENTO DE EXPRESIÓN GRÁFICA, DISEÑO Y PROYECTOS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROGRAMA DE DOCTORADO: INGENIERÍA Y GESTIÓN DE PROYECTOS

TESIS DOCTORAL

**EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE
UNA INCINERADORA DE RESIDUOS SÓLIDOS
URBANOS CON RECUPERACIÓN DE ENERGÍA
MEDIANTE EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA**

Autor: Fauzi Mimún Mohamed

Director: Dr.D.José Ramón Andres Díaz

Málaga, 2015



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

DEPARTAMENTO DE EXPRESIÓN GRÁFICA, DISEÑO Y PROYECTOS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROGRAMA DE DOCTORADO: INGENIERÍA Y GESTIÓN DE PROYECTOS

TESIS DOCTORAL

**EVALUACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE
UNA INCINERADORA DE RESIDUOS SOLIDOS
URBANOS CON RECUPERACION DE ENERGIA
MEDIANTE EL ANALISIS DE CICLO DE VIDA**

Autor: Fauzi Mimún Mohamed


Director : Dr. D. José Ramón Andres Díaz

Noviembre de 2015



Publicaciones y
Divulgación Científica

AUTOR: Fauzi Mimún Mohamed

 <http://orcid.org/0000-0002-6469-481X>

EDITA: Publicaciones y Divulgación Científica. Universidad de Málaga



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional:

Cualquier parte de esta obra se puede reproducir sin autorización
pero con el reconocimiento y atribución de los autores.

No se puede hacer uso comercial de la obra y no se puede alterar, transformar o hacer
obras derivadas.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>

Esta Tesis Doctoral está depositada en el Repositorio Institucional de la Universidad de
Málaga (RIUMA): riuma.uma.es

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar deseo expresar mi agradecimiento al director de esta tesis doctoral, Dr. José Ramón de Andrés Díaz, del Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos de la Escuela de Ingenierías de la Universidad de Málaga. Él fue quien me propuso dedicar la tesis al ciclo de vida de una incineradora de RSU, transmitiendo la importancia e impacto que este concepto tiene en el presente pero sobretodo tendrá en el futuro. Siempre ha proporcionado la guía necesaria, aportando una gran dosis de entusiasmo y ánimo en cada reunión.

Un trabajo de investigación es siempre fruto de ideas, proyectos y esfuerzos previos que corresponden a otras personas. En este caso mi más sincero agradecimiento a la Dra. Luz García Ceballos, del Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos de la Escuela de Ingenierías de la Universidad de Málaga, con cuyo trabajo estaré siempre en deuda. Gracias por su paciencia, dedicación, motivación, criterio y aliento. Ha hecho fácil lo difícil. Ha sido un privilegio poder contar con su guía y ayuda.

Quiero extender un sincero agradecimiento a las personas, de la EMPRESA 1, que han accedido a nuestras entrevistas y que nos han ofrecido valiosa información sin la que no hubiera sido posible el desarrollo de este estudio.

Gracias a mis padres, hermanos y amigos porque siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión.

Pero sobre todo, gracias a mi mujer Fátima y a mis hijos Inés y Norman, por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por el tiempo que me han concedido, un tiempo robado a la historia familiar. Sin su apoyo este trabajo nunca se habría escrito y, por eso, este trabajo es también el suyo.

A todos, muchas gracias.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN | 16 |
| CAPÍTULO 1 | 19 |
| INTRODUCCIÓN | 19 |
| 1.1. Justificación de la investigación | 20 |
| 1.2. Objetivos..... | 21 |
| 1.3. Metodología..... | 22 |
| 1.4. Estructura y contenido..... | 23 |
| 1.5. Historia del arte de la incineradora de RSU | 24 |
| 1.5.1. Introducción..... | 24 |
| 1.5.2. Tecnologías utilizadas en las plantas incineradoras de RSU españolas | 25 |
| 1.5.2.1. Tipos de hornos para la incineración | 25 |
| 1.5.2.1.1. Hornos de parrillas | 26 |
| 1.5.2.1.2. Hornos rotativos | 28 |
| 1.5.2.1.3. Hornos fluidizados..... | 28 |
| 1.5.2.2. Tipos de tratamiento y lavado de gases..... | 28 |
| 1.5.2.2.1. Limpieza de gases con partículas. Vía seca..... | 29 |
| 1.5.2.2.1.1. Precipitador electrostático | 29 |
| 1.5.2.2.1.2. Filtros de mangas..... | 30 |
| 1.5.2.2.2. Lavado de gases. Vía húmeda | 31 |
| 1.5.2.2.3. Depuración en semiseco | 32 |
| 1.5.2.3. Reducción de NOx | 32 |
| 1.5.2.3.1. SNCR..... | 34 |
| 1.5.2.3.1.1. Descripción del proceso | 35 |
| 1.5.2.3.1.2. Química de la reducción | 35 |
| 1.5.2.3.2. SCR..... | 37 |
| CAPÍTULO 2 | 40 |
| PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LA INCINERACIÓN DE RSU | 40 |
| 2.1. Residuos..... | 41 |
| 2.1.1 RSU | 41 |
| 2.1.2. Residuos generados en la incineración de RSU | 42 |

| | |
|--|-----------|
| 2.1.2.1. Escorias | 42 |
| 2.1.2.2. Cenizas volantes y los residuos de la depuración de gases | 43 |
| 2.1.3. Residuos peligrosos | 43 |
| 2.1.4. Principio de jerarquía de los residuos..... | 43 |
| 2.2. Emisiones..... | 44 |
| 2.2.1. Partículas | 44 |
| 2.2.2. Metales pesados..... | 45 |
| 2.2.3. Monóxido de carbono (CO)..... | 46 |
| 2.2.4. Gases ácidos. | 46 |
| 2.2.5. Los óxidos de nitrógeno (NO _x) | 47 |
| 2.2.5.1. Los NO _x que se producen en la combustión de los residuos..... | 48 |
| 2.2.6. Dioxinas y furanos..... | 49 |
| 2.2.6.1. Fuentes de dioxinas | 51 |
| 2.2.6.2. Incineración y dioxinas | 52 |
| 2.2.6.3. Estudios epidemiológicos sobre los efectos adversos para la salud derivados de las plantas de incineración de RU anteriores a la Directiva 2000/76/CE (Antiguas)..... | 54 |
| 2.2.6.3.1. Efectos reproductivos y en el desarrollo..... | 55 |
| 2.2.6.3.2. Efectos respiratorios | 60 |
| 2.2.6.3.3. Efectos cancerígenos | 60 |
| 2.2.6.4. Efectos sobre la salud de las incineradoras de RSU posteriores a la Directiva 2000/76/CE (Modernas)..... | 62 |
| 2.2.6.5. Niveles de exposición a dioxinas en la población general | 65 |
| CAPÍTULO 3 | 69 |
| SITUACIÓN DE LA INCINERACIÓN DE RSU EN ESPAÑA Y EUROPA..... | 69 |
| 3.1. Tratamiento de RSU en España..... | 70 |
| 3.2. Tratamiento de residuos en Europa | 72 |
| 3.3. Valorización energética de los RSU en España | 80 |
| 3.4. Escenario europeo respecto a la valorización energética de los RSU | 83 |
| 3.5. Fracción renovable de los residuos valorizables energéticamente en Europa | 86 |
| CAPÍTULO 4..... | 89 |
| DESCRIPCIÓN DE LA INCINERADORA DE RSU OBJETO DE ESTUDIO.... | 89 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1. Instalación | 90 |
| 4.2. Materiales | 90 |
| 4.2.1. Residuos tipos..... | 90 |
| 4.2.2. Materiales auxiliares..... | 96 |
| 4.2.2.1. <i>Productos utilizados en la Planta de tratamiento de aguas para su mantenimiento</i> | 96 |
| 4.2.2.2. <i>Productos utilizados en el acondicionamiento del agua de caldera</i> | 96 |
| 4.2.2.3. <i>Aditivos para la ósmosis inversa (operación, limpieza y mantenimiento)</i> | 96 |
| 4.2.2.4. <i>Materias auxiliares depuración de gases</i> | 97 |
| 4.2.2.5. <i>Reactivos para operación y mantenimiento del circuito de refrigeración</i> | 97 |
| 4.3. Procesos | 97 |
| 4.3.1. Alimentación de residuos destinados a valorización energética | 97 |
| 4.3.2. Valorización energética | 98 |
| 4.3.3. Depuración de gases | 101 |
| 4.3.3.1. <i>Absorbedor semiseco e inyección de carbón activo</i> | 102 |
| 4.3.3.2. <i>Filtro de mangas.....</i> | 103 |
| 4.3.3.3. <i>Chimenea</i> | 104 |
| 4.3.3.4. <i>Analizador de gases.....</i> | 105 |
| 4.3.3.4.1. Principio de funcionamiento..... | 106 |
| 4.3.3.4.2. Sistema de muestreo | 107 |
| 4.3.3.5. <i>Emisiones.....</i> | 109 |
| 4.3.4. Tratamiento de residuos de incineración | 110 |
| 4.3.5. Planta de tratamiento de aguas para caldera..... | 112 |
| 4.3.5.1. <i>Filtración previa.....</i> | 112 |
| 4.3.5.2. <i>Adición de reactivos de acondicionamiento</i> | 112 |
| 4.3.5.3. <i>Filtración sobre cartuchos</i> | 112 |
| 4.3.5.4. <i>Ósmosis inversa y desgasificación</i> | 113 |
| 4.3.5.5. <i>Desmineralización con resinas de intercambio iónico</i> | 113 |
| 4.3.5.6. <i>Regeneración de resinas.....</i> | 113 |
| 4.3.5.7. <i>Dosificación de reactivos</i> | 114 |
| 4.3.6. Circuito de agua..... | 115 |
| 4.3.6.1. <i>Agua para consumo en servicios, sanitarios y aseos</i> | 116 |

| | |
|--|------------|
| 4.3.6.2. Aporte de agua para caldera..... | 116 |
| 4.3.6.3. Depuración de gases de la incineradora..... | 117 |
| 4.3.6.4. Aporte de agua al circuito de refrigeración..... | 117 |
| 4.3.6.5. Enfriamiento de muestras..... | 117 |
| 4.3.6.6. Agua contraincendios..... | 117 |
| 4.3.6.7. Red de recogida de aguas usadas y pluviales..... | 117 |
| 4.3.6.7.1. Agua de aporte proveniente de la Purga Continua de la Caldera... | 118 |
| 4.3.6.7.2. Agua de rechazo de ósmosis..... | 118 |
| 4.3.6.7.3. Agua proveniente de las Purgas de las Torres de Refrigeración..... | 118 |
| 4.3.6.7.5. Red de saneamiento y lixiviados..... | 118 |
| 4.3.7. Caldera de recuperación..... | 119 |
| 4.3.8. Energía..... | 120 |
| 4.3.8.1. Producción de energía..... | 120 |
| 4.3.8.2. Sistema eléctrico..... | 121 |
| 4.3.8.3. Importación de energía eléctrica de la red..... | 122 |
| 4.3.8.4. Uso de Gasóleo como combustible adicional..... | 122 |
| 4.3.9. Sistema de mando, control e instrumentación..... | 123 |
| 4.3.10. Reducción de los óxidos de nitrógeno..... | 124 |
| 4.3.10.1. Reactivos..... | 125 |
| 4.3.10.2. Sistema SNCR..... | 126 |
| 4.3.10.2.1. Tanques de Almacenamiento..... | 129 |
| 4.3.10.2.2. Módulo de Circulación..... | 129 |
| 4.3.10.2.3. Módulo de medición y distribución de reactivo..... | 129 |
| 4.3.10.2.4. Mezclado del reactivo con el gas de combustión y reducción de NO _x (Inyectores)..... | 130 |
| CAPÍTULO 5..... | 131 |
| ACV UN MÉTODO PARA LA EVOLUCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL | 131 |
| 5.1. Introducción..... | 132 |
| 5.2. Definición..... | 132 |
| 5.2.1. Definición del Objetivo y Alcance..... | 133 |
| 5.2.2. Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV)..... | 136 |
| 5.2.3. Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV)..... | 137 |

| | |
|--|------------|
| 5.2.3.1. Selección de categorías de impactos, indicadores de categoría y modelo de caracterización | 138 |
| 5.2.3.2. Clasificación | 138 |
| 5.2.3.3. Caracterización | 139 |
| 5.2.3.4. Normalización | 139 |
| 5.2.3.5. Agrupación | 140 |
| 5.2.3.6. Ponderación | 140 |
| 5.2.4. Interpretación..... | 140 |
| 5.3. Impactos ambientales en el CV | 141 |
| 5.4. Metodologías adoptadas en la evaluación de impacto..... | 146 |
| 5.4.1. CML-IA baseline versión 3.01 | 146 |
| 5.4.2. ReCiPe, Pré Consultants..... | 147 |
| 5.4.3. Ecoindicador 95..... | 148 |
| 5.4.4. Ecoindicador 99..... | 148 |
| 5.4.5. Demanda de energía acumulada (CED) | 149 |
| 5.4.6. TRACI 2.1 | 149 |
| 5.4.7. Ecological scarcity 2013..... | 150 |
| 5.4.8. EPD (2013)..... | 151 |
| 5.4.9. EDIP 2003 | 151 |
| 5.4.10.ILCD 2011 Midpoint..... | 152 |
| 5.4.11. IPCC 2013 | 152 |
| 5.4.12. USEtox | 152 |
| 5.5. Bases de datos y software..... | 153 |
| 5.5.1. Bases de datos..... | 153 |
| 5.5.2. Software..... | 156 |
| 5.6. Elección del mecanismo medioambiental | 158 |
| 5.7. Elección de las categorías de impacto e indicadores. | 158 |
| CAPÍTULO 6..... | 161 |
| ACV DE LA INCINERADORA DE RSU DE ESTUDIO | 161 |
| 6.1. Definición de objetivos y alcance..... | 162 |
| 6.1.1. Objetivo y alcance | 162 |
| 6.1.2. Límites del sistema | 162 |

| | |
|---|------------|
| 6.1.3. Unidad Funcional | 163 |
| 6.1.3.1. Documentos estudiados | 163 |
| 6.1.3.2. Unidad Funcional seleccionada | 167 |
| 6.1.4. Descripción del sistema | 168 |
| 6.2. Análisis del inventario | 171 |
| 6.3. Evaluación de la instalación de incineración de RSU | 176 |
| 6.3.1 Alimentación de residuos | 177 |
| 6.3.2 Valorización energética..... | 181 |
| 6.3.3 Tratamiento de residuos | 188 |
| 6.3.4 Reducción de los NOx | 191 |
| 6.3.5 Caldera | 194 |
| 6.3.6 Recuperación de energía | 200 |
| 6.3.7 Planta de tratamiento de agua (PTA) | 206 |
| 6.3.8 Electricidad | 208 |
| 6.3.9 Depuración de gases | 211 |
| 6.3.10 Fontanería | 215 |
| 6.3.11. Infraestructura de la incineradora | 217 |
| 6.4. Evaluación del uso | 219 |
| 6.5. Fin de vida | 227 |
| 6.6. Evaluación de impacto de la incineradora de RSU de nuestro trabajo..... | 227 |
| 6.6.1. Composición de los RSU..... | 228 |
| 6.6.2. Emisiones | 229 |
| 6.6.3 Evaluación de impactos de la incineradora de RSU | 230 |
| 6.7. Comparativa de los impactos medioambientales de la incineradora de residuos con y sin recuperación de energía. | 244 |
| 6.8. Interpretación de la EICV. | 249 |
| CAPÍTULO 7 | 250 |
| CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN..... | 250 |
| 7.1. Conclusiones..... | 251 |
| 7.2. Futuras líneas de investigación..... | 254 |
| BIBLIOGRAFÍA | 256 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 2.1 Principio de jerarquía de residuos. Fuente: Directiva 2008/98/CE..... | 44 |
| Figura 2.2 Dioxinas y sus I-TEF (Factor Internacional de Equivalencia Tóxica) [CE., 2006]..... | 66 |
| Figura 2.3 Furanos y sus I-TEF [CE., 2006] | 66 |
| Figura 2.4 PCBs y sus I-TEF [CE., 2006] | 67 |
| Figura 3.1 Tratamiento de RSU en España en 2013 [EUROSTAT, 2014] | 70 |
| Figura 3.2 Generación y tratamiento de RSU en Europa en kg per cápita en 2013 [EUROSTAT, 2014]..... | 74 |
| Figura 3.3 Tratamiento de RSU en Europa en % en 2013 [EUROSTAT, 2014]..... | 77 |
| Figura 3.4 Tratamiento de RSU en Europa en % (1996-2013) [EUROSTAT, 2014].... | 79 |
| Figura 3.5 Energía procedente de los RSU en España en 2014 en GWh [AEVERSU, 2015]..... | 81 |
| Figura 3.6 Cantidad de RSU incinerada en España en 2014 en Tn [AEVERSU, 2015] 82 | |
| Figura 3.7 Cantidad de RU incinerada en Europa en 2013 en MTn [CEWEPMAP, 2014] | 84 |
| Figura 3.8 Producción energética de RU en la UE en 2013 en GWh [EUROSERVER, 2014]..... | 86 |
| Figura 4.1 Composición de los RSU. Fuente: Elaboración propia..... | 95 |
| Figura 4. 2 Horno de parrila. Fuente: EMPRESA 1 | 99 |
| Figura 4. 3 Depuración de gases. Fuente: EMPRESA 1 | 101 |
| Figura 4.4 Filtro de mangas. Fuente: EMPRESA 1 | 104 |
| Figura 4.5 MIR 9000: Analizador multigas infrarrojo a correlación [ENVIRONNEMENT, S.A., 2014]..... | 107 |
| Figura 4.6 Conjunto muestreador "SEC" [ENVIRONNEMENT, S.A., 2015] | 108 |
| Figura 4.7 Sistema de incineración de RSU en horno de parrillas [IDAE., 20011]..... | 111 |
| Figura 4.8 Configuración de la ruta del gas en la caldera. Fuente: Elaboración propia | 125 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4.9 Diagrama de flujo del proceso de SNCR con urea. Fuente: Elaboración propia..... | 127 |
| Figura 5.1 Fases de un ACV (UNE-EN-ISO 14040:2006) | 133 |
| Figura 5.2 Elementos de la fase de EICV (UNE-EN-ISO 14040:2006) | 138 |
| Figura 5.3 Terminología relacionada con el alcance de un ACV [IHOBE, 2009]..... | 141 |
| Figura 6.1 Límites del sistema de incineración. Fuente: Elaboración propia..... | 170 |
| Figura 6.2 Diagrama de bloques de los procesos de la línea de incineración. Fuente: Elaboración propia..... | 174 |
| Figura 6.3 Esquema global de flujos. Fuentes: Elaboración propia | 176 |
| Figura 6.4 Caracterización impactos alimentación de residuos. Fuente: Elaboración propia | 180 |
| Figura 6.5 Caracterización impactos del proceso de valorización energética. Fuente: Elaboración propia..... | 184 |
| Figura 6.6 Normalización impactos valorización energetica. Fuente: Elaboración propia | 186 |
| Figura 6.7 Caracterización impactos del “tratamiento de residuos”. Fuente: Elaboración propia..... | 190 |
| Figura 6.8 Caracterización impactos reducción de NOx. Fuente: Elaboración propia | 193 |
| Figura 6.9 Caracterización impactos proceso "caldera". Fuente: Elaboración propia . | 196 |
| Figura 6.10 Normalización de impactos de caldera. Fuente: Elaboración propia..... | 198 |
| Figura 6.11 Caracterización impactos "recuperación de energía". Fuente: Elaboración propia..... | 202 |
| Figura 6.12 Normalización impactos de recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia..... | 204 |
| Figura 6.13 Caracterización impactos planta de tratamiento de agua. Elaboración propia | 207 |
| Figura 6.14 Caracterización impactos electricidad. Elaboración propia | 210 |
| Figura 6. 15 Árbol en porcentajes del montaje de la depuración de gases. Fuente: Elaboración propia..... | 213 |

| | |
|--|-----|
| Figura 6.16 Caracterización impactos depuración de gases. Fuente: Elaboración propia | 214 |
| Figura 6.17 Caracterización impactos fontanería. Fuente: Elaboración propia | 216 |
| Figura 6.18 Caracterización impacto infraestructura de RSU con recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia | 218 |
| Figura 6.19 Flujos de energía eléctrica del proceso de incineración. Fuente: Elaboración propia | 220 |
| Figura 6.20 Caracterización impacto materiales auxiliares necesarios para la incineradora de RSU. Fuente: Elaboración propia | 223 |
| Figura 6.21 Perfil medioambiental del consumo eléctrico. Fuente: Elaboración propia | 226 |
| Figura 6.22 Caracterización impactos ambientales incineradora de RSU con recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia | 232 |
| Figura 6.23 Normalización impactos ambientales incineradora de RSU con recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia | 234 |
| Figura 6.24 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de acidificación. Fuente: Elaboración propia | 236 |
| Figura 6.25 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de agotamiento de combustibles fósiles. Fuente: Elaboración propia | 237 |
| Figura 6.26 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de agotamiento de ozono. Fuente: Elaboración propia | 238 |
| Figura 6.27 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineración de RSU en la categoría de agotamiento de recursos abióticos. Fuente: Elaboración propia | 239 |
| Figura 6.28 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de eco-toxicidad marina. Fuente: Elaboración propia | 240 |
| Figura 6.29 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de eco-toxicidad terrestre. Fuente: Elaboración propia | 240 |
| Figura 6. 30 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de eutrofización. Fuente: Elaboración propia | 241 |
| Figura 6.31 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de cambio climático. Fuente: Elaboración propia | 242 |

| | |
|--|-----|
| Figura 6.32 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de formación de foto-oxidantes. Fuente: Elaboración propia | 242 |
| Figura 6.33 Árbol evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de eco-toxicidad acuática. Fuente: Elaboración propia | 243 |
| Figura 6.34 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de toxicidad humana. Fuente: Elaboración propia..... | 244 |
| Figura 6.35 Comparativa caracterización impactos de incineradora de RSU con y sin recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia | 246 |
| Figura 6.36 Comparativa normalización impacto incineradora de RSU con y sin recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia | 248 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1.1 Tecnologías utilizadas en las plantas de tratamiento de residuos Españolas [AEVERSU., 2015] | 27 |
| Tabla 3.1 Generación y tratamiento de RSU en Europa en kg per cápita en 2013 [EUROSTAT, 2014]..... | 73 |
| Tabla 3.2 Tratamiento de RSU en Europa en % en 2013 [EUROSTAT, 2014] | 76 |
| Tabla 3.3 Tratamiento de RSU en Europa en % (1996-2013) [EUROSTAT, 2014] | 78 |
| Tabla 3.4 Producción energética en base a combustión de RU en la UE en 2013 en GWh [EUROSERVER, 2014]..... | 85 |
| Tabla 4.1 Tratamiento de residuos en la planta (LER). Fuente: Elaboración propia con los datos facilitados por la EMPRESA 1 | 92 |
| Tabla 4.2., cont. Residuos tratados en la planta (LER). A. Cont. Fuente: Elaboración propia con los datos facilitados por la EMPRESA 1 | 93 |
| Tabla 4.3., cont. Residuos tratados en la planta (LER). A. Cont. Fuente: Elaboración propia con los datos facilitados por la EMPRESA 1 | 94 |
| Tabla 4.4 Composición de los RSU. Elaboración propia | 95 |
| Tabla 4.5 Emisiones máximas a la atmósfera. Fuente: Elaboración propia | 109 |
| Tabla 4.6 Diferentes niveles de producción de electricidad. Fuente: Elaboración propia | 121 |
| Tabla 4. 7 Propiedades de la urea [EPA., 2000]..... | 126 |
| Tabla 4.8 Equipo del sistema SNCR en base a urea. Fuente: Elaboración propia | 128 |
| Tabla 6.1 Alimentación de RSU. Fuente: Elaboración propia (datos facilitador por la EMPRESA 1) | 178 |
| Tabla 6.2 Tratamiento de residuos voluminosos. Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1)..... | 179 |
| Tabla 6.3 Caracterización impactos "alimentación de residuos". Fuente: Elaboración propia..... | 181 |
| Tabla 6.4 Horno incinerador.Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1) | 182 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 6.5 Equipos auxiliare del horno incinerador. Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1)..... | 183 |
| Tabla 6.7 Caracterización impactos "valorización energética". Fuente: Elaboración propia..... | 185 |
| Tabla 6.6 Caracterización impactos valorización energética. Fuente: Elaboración propia. | 185 |
| Tabla 6.8 Normalización impactos valorización energética. Fuente: Elaboración propia | 187 |
| Tabla 6.9 Tratamiento de residuos. Fuente: Elaboración propia.(datos facilitados por la EMPRESA 1) | 188 |
| Tabla 6.10 Caracterización impactos “tratamiento de residuos”. Fuente: Elaboración propia..... | 191 |
| Tabla 6.11 Reducción de NOx. Fuente: Elaboración propia.(datos facilitados por la EMPRESA 1) | 192 |
| Tabla 6.12 Caldera de vapor y equipos auxiliares. Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1)..... | 195 |
| Tabla 6.13 Caracterización impactos caldera. Fuente: Elaboración propia | 197 |
| Tabla 6.14 Normalización impactos caldera. Fuente: Elaboración propia..... | 199 |
| Tabla 6.15 Turboalternador. Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1) | 200 |
| Tabla 6.16 Aerocondensadores. Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1) | 201 |
| Tabla 6.17 Caracterización impactos recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia..... | 203 |
| Tabla 6.18 Normalización impactos recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia..... | 205 |
| Tabla 6.19 Planta de tratamiento de agua. Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1) | 206 |
| Tabla 6.20 Grupo electrógeno. Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1) | 208 |
| Tabla 6.21 Electricidad. Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1)..... | 209 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 6. 22 Depuración de gases. Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1) | 212 |
| Tabla 6.23 Fontanería. Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1) | 215 |
| Tabla 6.24 Residuos energía, agua y materiales auxiliares relativos a la UF. Fuente: Elaboración propia con los datos facilitados por la EMPRESA 1 | 219 |
| Tabla 6.25 Caracterización impacto de materiales auxiliares de incineradora de RSU. Fuente: Elaboración propia..... | 224 |
| Tabla 6.26 Perfil ambiental de materiales auxiliares de incineradora de RSU en (%). Fuente: Elaboración propia..... | 225 |
| Tabla 6.27 Valores de normalización de los impactos ambientales del consumo eléctrico. Fuente: Elaboración propia | 227 |
| Tabla 6.28 Composición del RSU. Fuente: Elaboración propia..... | 228 |
| Tabla 6.29 Composición de 1 Tn de RSU. Fuente: Elaboración propia (Con los datos de la EMPRESA 1) | 229 |
| Tabla 6.30 Factores de emisión de contaminante en incinerador. Fuente: Elaboración propia (con los datos de la EMPRESA 1) | 230 |
| Tabla 6.31 Caracterización impactos ambientales de RSU con recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia..... | 233 |
| Tabla 6.32 Normalización impactos ambientales incineradora de RSU con recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia | 235 |
| Tabla 6.33 Evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en (%). Fuente: Elaboración propia..... | 236 |
| Tabla 6.34 Comparativa caracterización impacto de incineradora de RSU con y sin recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia | 247 |

ABREVIATURAS

| | |
|------------------------------------|---|
| AAI | Autorización Ambiental Integrada. |
| ACV | Análisis de Ciclo de vida. |
| ADF | Factor de Agotamiento Abiótico. |
| Ah | Hidrocarburos de arilo. |
| AIE | Agencia Internacional de Energía. |
| AP | Potencial de Acidificación. |
| AVERSU | Asociación de Valorización Energética de Residuos Sólidos Urbanos. |
| CAPV | Comunidad Autónoma del País Vasco. |
| CEWEP | Confederación de plantas Europeas que utilizan residuos para la producción de energía |
| CIDR | Conferencia Internacional sobre Dioxinas y Residuos. |
| CO (NH ₂) ₂ | Urea. |
| COT | Carbono Orgánico Total. |
| CSR | Combustibles Sólidos de Residuos. |
| DeNO _x | Desnitrificación. Sistema de reducción de óxidos de nitrógeno. |
| EDAR | Estación Depuradora de Aguas Residuales. |
| EICV | Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida. |
| EPER | Registro Europeo de Emisiones de Contaminantes. |
| EPRI | Instituto para la Investigación de la Potencia Eléctrica. |
| Eq. | Equivalente. |
| EWEA | Asociación Europea de Energía Eólica. |
| FAETP | Potencial de Eco-Toxicidad de agua dulce. |
| GIS | Sistema de Información Geográfica. |
| GWP | Potencial de calentamiento global. |
| HTP | Potencial de toxicidad Humana |
| IARC | Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer. |
| ICV | Inventario de Ciclo de Vida. |
| INE | Instituto Nacional de Estadísticas. |

| | |
|-------|---|
| IPCC | Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. |
| IPPC | Prevención y Control Integrados de la Contaminación. |
| IR | Infrarrojo. |
| I-TEQ | Equivalencia Tóxica Internacional |
| MER | Material de Riesgo Específico. |
| NP | Potencial de Nutricación. |
| NRC | Consejo Nacional de Investigación. |
| OECD | Organización para la cooperación económica y el desarrollo. |
| OMM | Organización Meteorológica Mundial. |
| OMS | Organización Mundial de la Salud. |
| OTAN | Organización Territorial Atlántico Norte. |
| PCB | Policlorobifenilo. |
| PCDD | Policlorodibenzodioxinas. |
| PCDF | Policlorodibenzofuranos. |
| PNIR | Plan Nacional Integrado de Residuos. |
| POCP | Potencial para creación de ozono fotoquímico. |
| ppt | Parte por trillón. |
| PTA | Planta de Tratamiento de Agua. |
| RICIA | Residuos Industriales, Comerciales e Institucionales Asimilables. |
| RSU | Residuos Sólidos Urbanos. |
| RU | Residuos Urbanos. |
| SNCR | Reducción No Catalítica Selectiva. |
| T3 | Triyodotironina. |
| T4 | Tiroxina. |
| TCDD | Tetraclorodibenzo- <i>p</i> -dioxina. |
| TEF | Factor de Equivalencia Toxicológica. |
| TEP | Tonelada Equivalente de petróleo. |
| TEQ | Equivalentes Tóxicos. |
| TSH | Hormonas tiroideas. |

RESUMEN

La generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se encuentra en continuo aumento y la actividad económica vinculada a los residuos alcanza cada vez mayor importancia.

La gestión de los RSU se puede abordar desde dos estrategias básicas: el tratamiento de los residuos producidos, previo vertido o almacenamiento, y la adopción de medidas que eviten o minimicen la eliminación de los mismos. La incineración de residuos está asociada a la primera estrategia, consiguiendo la reducción del volumen de los mismos y en algunos casos el aprovechamiento de su energía.

Las incineradoras de RSU son objeto de críticas desde el punto de vista medioambiental, debido a la formación de contaminantes que puedan ser emitidos por estas instalaciones.

Para evaluar sus potenciales impactos vamos a utilizar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que consiste en una metodológica que determina los potenciales impactos ambientales asociados con un producto o servicio, desde la extracción de la materia prima hasta su disposición final.

En este trabajo se realiza, mediante la metodología indicada, el perfil medioambiental de una incineradora de RSU con recuperación de energía, con el fin de poder valorar el impacto ambiental de la instalación. Además se realiza una comparativa de la instalación con y sin recuperación energética para poder evaluar el impacto de dicho proceso.

Por otra parte, se proponen mejoras y modificaciones tanto en los procesos como en los materiales utilizados de mayor impacto para reducir su contribución a los impactos medioambientales de la incineradora de RSU.

Palabras claves para identificar el presente trabajo:

ACV, incineradora, RSU, impacto ambiental, emisiones, parrillas, depurador semi-seco, recuperación energética.

ABSTRACT

The production of Municipal Solid Waste (MSW) is steadily growing and the economic activity related to it is becoming increasingly important.

MSW management can be approached from two basic strategies: treatment of the waste produced, after landfill or storage, and adoption of measures to avoid or minimize the disposal of such waste. Incineration is connected with the first strategy, reducing the volume of waste and, in some cases, converting it into energy.

MSW incinerators are criticized from an environmental point of view due to the formation of pollutants which these incineration plants may emit.

To evaluate their potential impacts we will use the Life Cycle Assessment (LCA) which is a technique to assess the potential environmental impacts related to a particular product or service from raw material extraction to final disposal.

This work is a study, by means of the above mentioned methodology, of the environmental profile of a MSW incinerator with energy recovery aiming to evaluate the environmental impact of the plant. Besides, it presents a comparative analysis of the incinerator with and without energy recovery to evaluate the impact of such process too.

The essay suggests improvements and modifications both in the processes and in the materials used to reduce the environmental impacts of the MSW incinerator.

Keywords to identify this dissertation:

LCA, incinerator, MSW, environmental impact, emissions, grate furnace, semi-dry scrubber, energy recovery.

Capítulo 1

Introducción

1.1. Justificación de la investigación

La Unión Europea (UE) se enfrenta actualmente a un período de transformación, derivado principalmente de la globalización, del cambio climático y del envejecimiento de la población. Además, la crisis financiera de 2008 puso en duda los avances sociales y económicos realizados por los Estados miembros. De este modo, la recuperación económica debe ir acompañada de una serie de reformas, con el fin de asegurar el desarrollo sostenible de la UE durante los próximos años.

Para ello la Comisión propone una nueva estrategia política, «Europa 2020», para apoyar el empleo, la productividad y la cohesión social en Europa. Una de las siete iniciativas emblemáticas que forman parte de dicha estrategia es “**Una Europa que utilice eficazmente los recursos**”, que debe apoyar la gestión sostenible de los recursos y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, manteniendo la competitividad de la economía europea y su seguridad energética en el marco de una economía circular [ECONOMIA CIRCULAR, 2015].

La producción de residuos se encuentra en continuo aumento y la actividad económica vinculada a los residuos alcanza cada vez mayor importancia, tanto por su envergadura como por su repercusión directa en la sostenibilidad del modelo económico europeo (Ley 22/2011, de residuos y suelos contaminados).

La incineración es uno de los procesos térmicos que puede aplicarse en el tratamiento de RSU para disminuir su cantidad y/o aprovechar la energía que contienen [Morselli, L. et al., 2008]. Los aspectos medioambientales y humanos que causan mayor preocupación son las emisiones atmosféricas, especialmente las dioxinas y furanos, las escorias y cenizas formadas [Morselli, L. et al., 2004].

Todo el mundo se beneficia de la atmósfera, el clima, la biodiversidad... al mismo tiempo que padece los efectos del calentamiento global, la reducción de la capa de ozono, la desaparición de especies, la disminución de materias primas entre otros efectos medioambientales. Por esta razón, los métodos estándares para evaluar el impacto ambiental de los sistemas de gestión de residuos son necesarios. Una de las

herramientas más útiles para la gestión medioambiental es el análisis de ciclo de vida (ACV) [Morselli, L. et al., 2008].

El ACV es una metodología de gestión medioambiental, que la Society of Environment Toxicology and Chemistry (SETAC) definió como: “ un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando el uso de materiales, energía y los vertidos al entorno. La evaluación se realiza en el ciclo de vida (CV) completo del proceso o la actividad, incluyendo la extracción, el tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y la disposición final” [Consoli, F. et al., 1993].

Para la consecución de un desarrollo sostenible hay que evaluar los distintos productos y servicios que se producen en nuestros entornos. Realizar el ACV de una incineradora de RSU permite suministrar una información completa de la interacción de este sistema de producto con el medio ambiente. Y por tanto, a comprender las consecuencias ambientales de esta actividad humana, para conseguir prever las consecuencias negativas para la toma de decisiones. Además de identificar las oportunidades para la mejora ambiental de esta actividad.

1.2. Objetivos

El presente trabajo consiste en identificar los impactos medioambientales provocados por una incineradora de RSU (Capítulo 4) mediante la elaboración de un ACV. Los resultados obtenidos contribuirán a crear, en un futuro, una base de datos que servirá como referencia. También consiste en determinar los procesos o las etapas más influyentes en el perfil medioambiental y poder proponer las mejoras adecuadas.

Se realiza también una comparativa de impactos ambientales de la incineradora de RSU, objeto de estudio, con y sin recuperación de energía con el objetivo de determinar la mejor opción de tratamiento térmico.

Otros objetivos, parciales, desarrollados a lo largo de la investigación para la consecución de dichos objetivos principales son:

- Analizar las características técnicas de las diferentes tecnologías de incineración de RSU.
- Estudiar las distintas metodologías que existen para la realización de una evaluación ambiental.
- Seleccionar un parámetro de referencia para poder realizar la comparativa de los procesos de la instalación.
- Realizar un inventario de la instalación, incluyendo materiales y procesos.

1.3. Metodología

El proceso metodológico que se seguirá en la presente Tesis incluye:

- En primer lugar se realiza un estudio de las diferentes metodologías que existen en la actualidad para realizar ACV de productos. Para seleccionar método, categorías de impacto, software y bases de datos (BBDD).
- Posteriormente se realizará un estudio detallado del producto estudio de la Tesis Doctoral, incineradora de RSU con recuperación de energía. Dicho análisis consistirá en investigar los distintos componentes de la incineradora.
- Se definirá el parámetro de referencia para la comparación entre las distintas etapas de la instalación.
- Se generarán los diferentes inventarios tanto de materiales como de procesos.
- A continuación se realiza ACV de la incineradora de RSU con y sin recuperación de energía.
- Se hace comparativa ACV de las distintas etapas de la instalación y entre la incineradora con y sin recuperación de energía.
- Finalmente se analizan los resultados de los ACV realizados para poder sacar conclusiones y posibles líneas de investigación.

1.4. Estructura y contenido

El presente trabajo de investigación se ha estructurado en 8 capítulos que se comentarán a continuación:

- En el **capítulo 1, Introducción**, se presentan los objetivos, justificación, planteamiento global de la tesis y una breve historia de la incineradora de RSU.
- En el **capítulo 2, Problemática ambiental de la incineración de RSU**, Se presentan los principales inconvenientes medioambientales de la incineración de RSU. Y se expondrán las premisas que se seguirán para la realización del ACV de la instalación estudiada.
- En el **capítulo 3, Situación de la incineración de RSU en Europa y España**, Se hace un resumen estadístico para determinar la contribución de la incineración de RSU tanto a su tratamiento global como al mix energético europeo.
- En el **capítulo 4, Descripción de la incineradora de RSU objeto de estudio**, en este se presenta la incineradora de RSU que se va a estudiar y se hace una descripción detallada tanto de los materiales que se utilizan como las distintas etapas que intervienen en la instalación con vistas a posteriormente realizar su ACV.
- En el **capítulo 5, ACV un método para la evolución del impacto ambiental**, se presenta el estado del arte de la herramienta escogida para realizar el análisis. con una revisión de los distintos métodos existentes de cuantificación para la evaluación ambiental.
- En el **capítulo 6, ACV de la incineradora de RSU de estudio**, por una parte, se hace el ACV de la incineradora de RSU por etapas, para evaluar los impactos de cada una de ellas y de los materiales utilizados, por otra parte se estudia la incineradora en global para comparar los efectos medioambientales de la instalación con y sin recuperación de energía.
- En el **capítulo 7, Conclusiones**, se presenta las conclusiones al trabajo de Tesis y se plantea las líneas futuras de investigación.

- En el anexo y bibliografía, se presenta un listado con los datos básicos de los textos, artículos científicos, informes, estudios monográficos, páginas web, etc., consultados y referenciados a lo largo del documento. Se presenta también una lista de las normativas vigentes aplicadas en el presente trabajo.

1.5. Historia del arte de la incineradora de RSU

1.5.1. Introducción

La idea de destruir residuos a través de la incineración en equipos diseñados exclusivamente para ello surgió en Europa en la segunda mitad del siglo XIX. Puede haber estado inspirada en la fascinación por las máquinas de vapor que producen energía. Una de las principales razones para construir incineradores fue la producción de vapor. Entre otros motivos se encontraba la necesidad de "esterilizar bacteriológicamente" los residuos para prevenir la expansión de enfermedades así como la rápida disposición de una cantidad creciente de residuos, resultante de la rápida industrialización y desarrollo de las ciudades. El primer incinerador de residuos municipales que se instaló fue en la ciudad inglesa de Nottingham en 1874. En Estados Unidos (EE.UU) la primera instalación se realizó en "Governor's Island" en Nueva York, y en 1921 ya había más de 200 unidades instaladas [Baldasano Recio, J. M., 2001].

Una incineradora de RSU es una instalación industrial donde tiene lugar la incineración controlada de los mismos en las condiciones legalmente establecidas (a una temperatura mínima de 850°C durante al menos 2 segundos). El calor generado en este proceso de combustión es aprovechado en una turbina de vapor aneja al horno para producir electricidad, vapor y/o agua caliente sanitaria. Tras la combustión, los residuos reducen aproximadamente su volumen un 90% y su peso, un 75%. Las cenizas volantes, las escorias y los gases generados durante el proceso reciben el tratamiento más adecuado [COGERSA, 2011].

La Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre los residuos, admite la incineración de RSU como operación de valorización energética de residuos, únicamente cuando su eficiencia energética¹ resulte igual o superior a:

- 0,60 tratándose de instalaciones en funcionamiento y autorizadas conforme a la legislación comunitaria aplicable desde antes del 1 de enero de 2009.
- 0,65 tratándose de instalaciones autorizadas después del 31 de diciembre de 2008.

1.5.2. Tecnologías utilizadas en las plantas incineradoras de RSU españolas

Se puede apreciar con claridad en la Tabla 1.1 que la tecnología dominante en España respecto a la valorización energética de RSU es la que utiliza un horno de parrillas, un sistema semiseco de depuración de gases provisto de filtro de mangas, carbón activo como adsorbente para compuestos orgánicos y metales pesados volátiles y un sistema a base de urea (SNCR²) para la reducción de los NOx en las emisiones atmosféricas.

1.5.2.1. Tipos de hornos para la incineración

El residuo es enviado desde el foso, mediante un pulpo, a la etapa de tratamiento térmico, la cual persigue los siguientes objetivos [Franke, M. et al, 1995]:

1. Reducción de volumen: la incineración de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) permite reducir el volumen del residuo sólido un 90% disminuyéndose su peso alrededor de un 70%.

¹ Eficiencia energética = $(E_p - (E_f + E_i)) / (0,97 \times (E_w + E_f))$

donde:

E_p es la energía anual producida como calor o electricidad, que se calcula multiplicando la energía en forma de electricidad por 2,6 y el calor producido para usos comerciales por 1,1 (GJ/año).

E_f es la aportación anual de energía al sistema a partir de los combustibles que contribuyen a la producción de vapor (GJ/año).

E_w es la energía anual contenida en los residuos tratados, calculada utilizando el poder calorífico neto de los residuos (GJ/año).

E_i es la energía anual importada excluyendo E_w y E_f (GJ/año).

0,97 es un factor que representa las pérdidas de energía debidas a las cenizas de fondo y la radiación.

Esta fórmula se aplicará de conformidad con el documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para la incineración de residuos.

² Selective Non Catalytic Reduction

2. Estabilización del residuo: la salida del proceso, ceniza, se considera más inerte que la entrada al proceso, RSU, principalmente por la oxidación de materia orgánica. Esto conlleva a la reducción de los problemas de gestión de vertederos donde la fracción orgánica es la responsable de los gases de vertedero y de la producción de lixiviados.
3. Recuperación de energía: la energía recuperada del proceso de combustión se usa para generar vapor que es usado en la generación de electricidad. Esta energía puede ser usada para el propio proceso, para exportarlo a fábricas locales y a los sistemas de calefacción urbanas o a la red eléctrica. Esto permite que la eficiencia de la planta aumente.
4. Higienización de los residuos: se destruyen los patógenos antes de la eliminación en vertedero.

Existen diferentes tipos de tecnologías para tratar diferentes tipos de residuos, no pudiéndose aplicar dichas tecnologías a todos los tipos de residuos:

- Hornos de parrillas
- Hornos rotativos
- Hornos fluidizados

1.5.2.1.1. Hornos de parrillas

Los hornos de parrillas son los más conocidos y los más extendidos debido a su empleo en el tratamiento de los RSU, por su versatilidad y capacidad de tratamiento. La ventaja de este tipo de hornos es que admiten todo tipo de carga sin tratamiento previo y la inversión es relativamente baja.

El inconveniente principal de los hornos de parrillas es que las que son móviles pueden ocasionar problemas mecánicos o bien necesitar un frecuente mantenimiento [BVSDE., 2004].

| INSTALACION | SISTEMA DE DEPURACION DE GASES | | | | | | | | | |
|-------------|--------------------------------|------------------|----------------|-------------------------|----------|-------------------|------|---------------|--------------------|--|
| | HORNO | | | | | | | | | |
| | Pamillas | Lecho Fluidizado | Inyección urea | Inyección carbón activo | Semiseco | Filtros de mangas | Seco | Electrofiltro | Inyección amoniaco | |
| Melilla | x | | x | x | x | x | | | | |
| Cerceda | | x | x | x | x | x | | | | |
| Bilbao | x | | x | x | x | x | | | | |
| Girona | x | | x | x | | x | x | x | | |
| Mataró | x | | x | x | x | x | x | | x | |
| Sant Adrià | x | | x | x | x | x | | | | |
| Mallorca | x | | | x | x | x | x | | x | |
| Cantabria | x | | x | x | x | x | | | | |
| Madrid | | x | | x | x | x | | | x | |
| Tarragona | x | | | x | x | x | | | x | |

Tabla 1.1 Tecnologías utilizadas en las plantas de tratamiento de residuos Españolas [AEVERSU., 2015]

1.5.2.1.2. Hornos rotativos

Son incineradores robustos y permiten incinerar casi cualquier residuo. Se usan con frecuencia para incinerar residuos peligrosos y clínicos, lodos de alcantarillado, RSU pretratados y residuos líquidos y viscosos.

El horno rotativo, consiste en un vaso cilíndrico ligeramente inclinado sobre su eje horizontal y revestido de refractario que gira alrededor de su eje. Los residuos se transportan a través del horno por gravedad a medida que gira. Los gases procedentes del horno son posteriormente conducidos a una cámara de postcombustión, para asegurar la destrucción completa de los compuestos orgánicos. Por otro lado, las escorias abandonan el horno fundidas o sinterizadas. En cualquier caso, la existencia de movimiento implica limitaciones de tamaño y una mayor complejidad que en otros sistemas, razón por la que cada vez es menos utilizada para el procesamiento de RSU y se ha limitado su desarrollo a pequeñas plantas [EUROPEAN COMMISSION, 2006].

1.5.2.1.3. Hornos fluidizados

Este tipo de horno ha sido concebido para el tratamiento de materiales conflictivos, poder calorífico inferior (PCI) bajo o diferencias de tamaño en el combustible y/o en la alimentación. Así es un candidato para la incineración de residuos sólidos y/o pastosos.

Como desventaja más sobresaliente que presentan estos hornos hay que citar el mayor coste de instalación y el cuidado con la naturaleza de los residuos para evitar que se formen eutécticos que puedan fundir o colapsar el lecho [BVSDE., 2004].

1.5.2.2. Tipos de tratamiento y lavado de gases

Los gases procedentes de la caldera son sometidos a una serie de tratamientos para eliminar tanto las partículas como los gases contaminantes. El tipo de tratamiento usado difiere de planta a planta y del tipo de contaminante a tratar.

El dióxido de azufre y los halógenos gaseosos principalmente el ácido clorhídrico (HCl) y el fluoruro de hidrógeno (HF) son eliminados de los gases de combustión mediante la inyección de agentes de sorción química o física, como CaO, Ca(OH)₂, CaCO₃ o NaOH que entran en contacto con el gas de combustión. Existen tres alternativas básicas para la eliminación de los gases ácidos [MMA., 2011]:

- Vía seca
- Vía húmeda
- Vía semiseca

1.5.2.2.1. Limpieza de gases con partículas. Vía seca

Las partículas de tamaño $< 1 \mu\text{m}$ son especialmente nocivas para la salud humana (apartado 2.2.1). La primera elección del dispositivo de eliminación se lleva a cabo en función del tamaño de partícula a captar [BVSDE., 2004].

1.5.2.2.1.1. Precipitador electrostático

El gas circula a baja velocidad en un recinto que ioniza el aire debido a la diferencia de potencial de 60 a 80 kV en corriente continua (el consumo eléctrico es elevado). A intervalos regulares un mecanismo de limpieza hace caer el polvo al fondo de una tolva.

Son útiles cuando el volumen de gas a tratar es muy elevado y el contaminante de tamaño pequeño y/o vaho. Además pueden funcionar a alta temperatura y presión. La eficacia suele ser superior al 98%.

Las desventajas de este tipo de limpieza son [EPA., 2001]:

- Alto costo de capital.
- Muy sensibles a cambios en las condiciones de la corriente gaseosa (en especial, el flujo, la temperatura, la composición del gas y las partículas y la carga de las partículas).
- Ciertas partículas son difíciles de recolectar, debido a características de resistividad relativamente altas o bajas.
- Riesgo de explosión al recolectar partículas combustibles o tratar gases combustibles.
- Se requieren medidas especiales de seguridad para proteger al personal del alto voltaje.
- Durante la ionización del gas se produce ozono, por la descarga del electrodo cargado negativamente.
- Se requiere personal de mantenimiento altamente capacitado.

1.5.2.2.1.2. Filtros de mangas

Son materiales porosos a través de los cuales se hace pasar una corriente gaseosa cargada de partículas, que quedarán retenidas en el filtro.

Su eficacia suele ser superior al 99 %. La velocidad de paso de gases es muy reducida. Las telas soportan perfectamente 300 °C.

Las desventajas de los filtros de mangas son [Nivelo Chalco, J.P. et al., 2011]:

- Ciertos tipos de polvos requieren posiblemente telas tratadas.
- Las concentraciones de algunos polvos en el colector constituyen un riesgo de incendio o explosión si penetran chispas o llamas por accidente: existe posibilidad de quemar las telas si se recolectan polvos fácilmente oxidables.
- Requerimientos de mantenimiento relativamente altos (reemplazo de las mangas etc.)

- A temperaturas elevadas se puede acortar la vida de la tela, así como en presencia de partículas ácidas o alcalinas y componentes gaseosos.
- La condensación de humedad y componentes alquitranados adhesivos pueden causar taponamiento o agrietamiento de la tela, o requerir aditivos especiales.
- El reemplazo de las telas requiere de protección respiratoria para el trabajador.
- La caída de presión es de 4-10 in de c.a.

1.5.1.2.2. Lavado de gases. Vía húmeda

El principio básico de todos los lavados es adherir la partícula sólida a un vehículo líquido para su mayor facilidad de separación.

El sistema más usado es la torre de lavado donde el gas atraviesa a contraflujo una serie de bandejas de cuerpos rellenos con el líquido de lavado. La baja velocidad del gas restringe la aplicación a partículas superiores a 30 μm . Su eficacia es limitada pero la inversión y el consumo es baja.

Una ventaja importante de este sistema es el buen control de los metales pesados sin necesidad de aditivos. El mayor inconveniente es que transfiere toda la contaminación al agua y, normalmente, esta se debe depurar, con el gasto adicional que ello reporta [BVSDE., 2004].

1.5.2.2.3. Depuración en semiseco

También conocida como absorción en seco. Los principios elementales del abatimiento de los compuestos ácidos son:



El reactivo Ca(OH)_2 se puede usar en polvo (vía seca) o en suspensión de agua.

En el sistema en semiseco, la lechada de cal se inyecta por presión en el interior del reactor. El agua se evapora y la cal se combina con los ácidos presentes. La sal o sales formadas son recuperadas en los filtros de mangas o en el precipitador electrostáticos. Es una alternativa cada vez más usada porque no genera penachos ni aguas residuales.

Con respecto a la eliminación de los metales pesados, dioxinas y furanos, se dispone de un sistema de inyección de carbón activo en paralelo, siguiendo el mismo circuito que el descrito anteriormente, quedando adsorbidas las dioxinas, furanos y metales pesados, separándose finalmente en los filtros de mangas [BVSDE., 2004].

1.5.2.3. Reducción de NO_x

La Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales introduce un valor límite de emisión a la atmósfera para los óxidos de nitrógeno (NO_x).

En la actualidad una norma que regula en el Estado Español la emisión de óxidos de nitrógeno procedentes de la incineración de residuos a la atmósfera es el Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. A efectos prácticos, el generoso límite de emisión (300 ppm medido como NO_2 , para nuevas instalaciones de incineración de residuos municipales y asimilables) no lleva aparejado ningún tipo de actuación técnica; puesto que las emisiones típicas de NO_x en este tipo de instalaciones son notablemente inferiores.

La política comunitaria de medio ambiente tiene entre sus premisas contribuir a la protección de la salud de las personas. En consecuencia, exige el establecimiento y mantenimiento de condiciones operativas y de requisitos técnicos rigurosos, así como de valores límite de emisión para las instalaciones de incineración de residuos dentro de la Comunidad.

En esta línea, los valores límite establecidos deben evitar o, en su caso, reducir en el mayor grado posible los efectos negativos sobre el medio ambiente y los riesgos resultantes para la salud humana, según se desprende de la Directiva comunitaria relativa a la incineración de residuos. El Real Decreto 815/2013 incorpora el ordenamiento interno de la Directiva 2010/75/UE de la Unión Europea y tiene como objetivo impedir o limitar los riesgos para la salud y los efectos negativos sobre el medio ambiente de las actividades de incineración de residuos.

Las emisiones de NO_x en plantas de incineración de residuos pueden reducirse mediante la aplicación de medidas primarias (modificaciones de las condiciones de la combustión tendentes a reducir la producción de NO_x) y de medidas secundarias (utilización de reactivos para reducir las emisiones de NO_x formado en la combustión).

Como quiera que sólo con medidas primarias difícilmente podrá respetarse el valor límite de emisión establecido por la Directiva 2010/75/UE, será necesario adoptar también medidas secundarias.

De entre las tecnologías disponibles para la reducción secundaria de los NO_x destacan la reducción no catalítica selectiva (SNCR³) y la reducción catalítica selectiva (SCR⁴).

1.5.2.3.1. SNCR

La tecnología SNCR se basa en la inyección de amoníaco (NH_3) o urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) en el seno de los gases de combustión de los residuos, reduciendo los NO_x a nitrógeno y agua [ICAC., 2008].

La SNCR puede lograr eficiencias de reducción de NO_x de hasta 75 % en ciertas demostraciones a corto plazo. En aplicaciones típicas de campo, sin embargo, proporciona reducciones de NO_x de 30 % a 50 %. Se han reportado reducciones de hasta 65 % para algunas aplicaciones de campo de la SNCR en serie con equipo de control de la combustión, tales como quemadores de bajo NO_x [ICAC., 2008]. Los sistemas SNCR aplicados a unidades grandes de combustión (mayores que 900 MW), tienen típicamente, eficiencias de reducción de NO_x más bajas (menos de 40%), debido a limitaciones de mezclado [ICAC., 2008]. La Figura 1.1 presenta la eficiencia de reducción de NO_x de la SNCR para varios tamaños de calderas de servicios.

³ En inglés: Selective Non Catalytic Reduction.

⁴ En inglés: Selective Catalytic Reduction

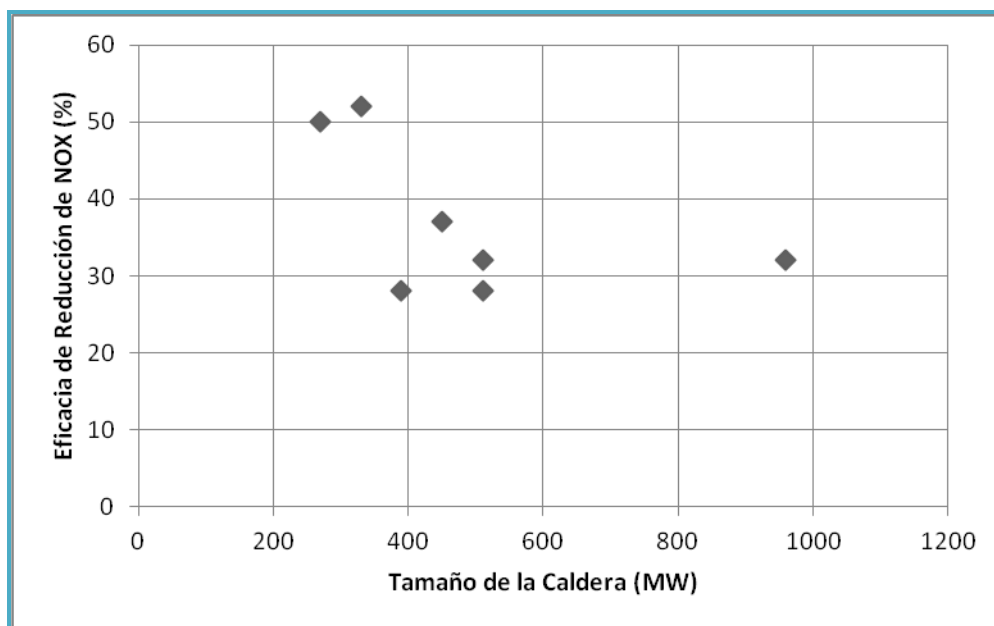


Figura 1.1 Eficiencia de reducción de NO_x de la SNCR [EPA., 2000]

1.5.2.3.1.1. Descripción del proceso

La SNCR está basada en la reducción química de la molécula de NO_x a nitrógeno molecular (N₂) y vapor de agua (H₂O). Un agente reductor con base en nitrógeno (reactivo), tal como amoníaco o urea, es inyectado en el gas después de la combustión. El reactivo puede reaccionar con un número de componentes del gas de combustión. Sin embargo, la reacción de reducción de NO_x se favorece sobre otros procesos de reacción química en un rango específico de temperatura y en presencia de oxígeno, por lo tanto, se considera un proceso químico selectivo.

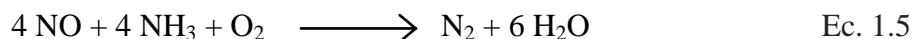
1.5.2.3.1.2. Química de la reducción

La SNCR es un proceso químico relativamente simple. El proceso comienza con un reactivo en base a urea (CO (NH₂)₂), siendo vaporizado, ya sea antes de la inyección por un vaporizador o después de la inyección por el calor de la caldera.

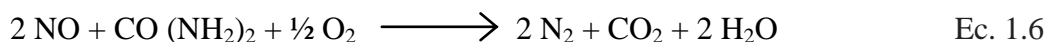
Dentro del rango de temperatura apropiado, la urea en fase gas se descomponen entonces en radicales libres, incluyendo NH_2 . Después de una serie de reacciones, los radicales de la urea entran en contacto con los NO_x y los reducen a N_2 y H_2O .

La representación global de estas reacciones está dada a continuación. Nótese que los NO_x están representados como NO , puesto que es la forma predominante de NO_x dentro de la caldera.

La ecuación de la reacción con amoníaco está dada por:



La ecuación de la reacción con urea está dada por:



El principal subproducto formado durante la SNCR es el óxido nitroso (N_2O). El N_2O es un abatidor del ozono y un gas de efecto invernadero, pero actualmente no está regulado. Se dispone de aditivos patentados para el proceso SNCR en base a urea, para reducir la formación de N_2O [Rini, M. J. et al., 1993].

El diseño básico para la aplicación de la SNCR corresponde a un sistema desarrollado y patentado por EPRI⁵ en 1980. Es un proceso en base a urea conocido por el nombre comercial de NO_x OUT. La tecnología fue otorgada bajo licencia a Fuel Tech⁶, la cual tiene varias patentes adicionales que reclaman mejoras y realces al proceso básico. Fuel Tech tiene varios concesionarios autorizados para suministrar e instalar tecnología SNCR en varios sectores industriales.

⁵ Electric Power Research Institute

⁶ Multinacional, líder en sistemas de control de la contaminación atmosférica.

1.5.2.3.2. SCR

Los sistemas SCR se basan en la inyección de amoníaco (agente reductor) en el seno del gas de combustión que atraviesan posteriormente un lecho que contiene un catalizador (Figura 1.2). Para un buen funcionamiento es fundamental una buena mezcla de la corriente de amoníaco con la corriente de gas de combustión sobre el lecho del catalizador.

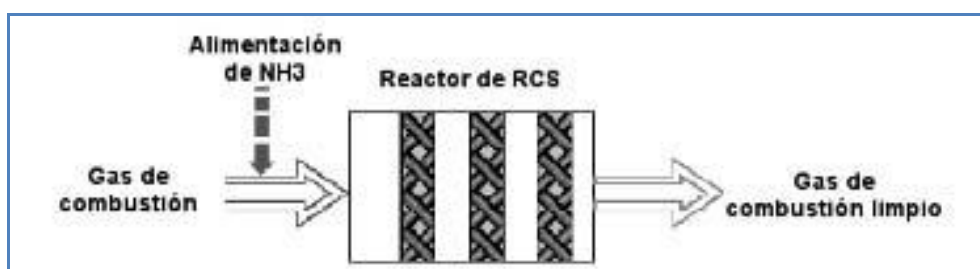


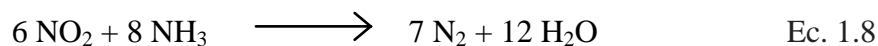
Figura 1.2 Principio operativo de la SCR [MMA., 2011]

El rendimiento de eliminación de NO_x alcanza valores de entre el 80 y el 95% con consumos de amoníaco del orden del estequiométrico. En consecuencia, el escape de amoníaco en chimenea es bajo [MMA., 2011].

El uso de sistemas SCR es prácticamente obligado si se desean garantizar valores de emisión de NO_x a la atmósfera inferiores a 100 mg/Nm^3 de gas seco, en condiciones normales y al 11% O_2 .

Los catalizadores se realizan normalmente con titanio, vanadio y wolframio y su temperatura óptima de reacción se sitúa normalmente entre los 320 y 380 °C, aunque en la actualidad hay ya catalizadores que trabajan a 250 °C, llegando, bajo determinadas circunstancias, incluso a 160 °C.

Las principales reacciones son:



Una disposición tal que el reactor SCR esté delante de la instalación de depuración del gas de combustión no es aconsejable en el caso en que, como en las incineradoras de residuos, el gas a depurar contenga cantidades significativas de sustancias (Pb, Na, etc.) que puedan "envenenar" el catalizador.

En plantas incineradoras de residuos, la ubicación más usual del catalizador es en cola del sistema de depuración, en la denominada configuración fría. En este caso, el gas depurado, prácticamente libre de metales pesados, partículas y gases ácidos, se recalienta hasta la temperatura requerida mediante intercambiadores de calor gas-gas y quemadores auxiliares aguas arriba de la inyección del amoníaco. En estas condiciones la vida útil del catalizador puede superar incluso los 6 años (una estimación aproximada de sustitución del catalizador es: en promedio se sustituye una capa de bloques de catalizador cada 2-3 años) [MMA., 2011].

Los bloques de catalizador agotados se deben conducir a depósitos de seguridad para residuos peligrosos o deben ser retornados a los suministradores para su tratamiento y/o eliminación.

La experiencia industrial ha demostrado que algunos de estos catalizadores, bajo determinadas circunstancias se comportan como destructores de dioxinas. En este caso es necesario utilizar capas adicionales de bloques de catalizador.

El coste de inversión de un sistema SCR puede ser del orden de entre 4 y 6 veces el coste de inversión de un sistema SNCR.

La caída de las ventas de energía eléctrica con un sistema SCR será superior en 15-25 kWh por tonelada de residuo incinerado que en un sistema SNCR (incluyendo las

pérdidas térmicas en ambos casos). De ellos, 10-15 kWh por tonelada de residuos serán debidos a la mayor pérdida de carga del sistema SCR.

Otro coste de operación significativo será el del combustible auxiliar en caso de necesitarse recalentar el gas de combustión depurado aguas arriba del catalizador.

También será significativo el coste de eliminación de los bloques de catalizador agotado.

El ahorro de reactivo, si se considera amoniaco acuoso al 25% ($\text{NH}_4\text{OH}25\%$) respecto a un sistema SNCR puede ser de entre 0 y 2 Kg de amoniaco acuoso por tonelada de residuo incinerado, para disminuir la concentración de NO_x desde un valor de 400 mg/Nm^3 de gas seco, en condiciones normales y 11% O_2 , hasta un valor de 200 mg/Nm^3 en idénticas condiciones [MMA., 2011].

Capítulo 2

Problemática Ambiental de la incineración de RSU

2.1. Residuos

El mercado para el tratamiento térmico y la recuperación energética de los residuos está creciendo continuamente. El aumento de las cantidades de residuos, la reducción de los espacios de relleno sanitario en las aglomeraciones y los estándares ecológicos más altos provocan este crecimiento en todo el mundo. Hoy en día, más de 2.200 plantas de valorización energética de residuos están activas en todo el mundo. Tienen una capacidad de eliminación de alrededor de 280 millones de toneladas de residuos al año. Más de 250 plantas de tratamiento térmico con una capacidad de casi 60 millones de toneladas anuales se construyeron entre 2010 y 2014. Estimamos casi 550 plantas nuevas con una capacidad de alrededor de 150 millones de toneladas anuales que se construirá el 2024 [ECOPROG. 2015].

2.1.1 RSU

Los RSU, denominados residuos domésticos en la Ley de Residuos (*Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados*), son aquellos residuos generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas. Se consideran también residuos domésticos los similares a los anteriores generados en servicios e industrias.

Se incluyen también en esta categoría los residuos que se generan en los hogares de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE), ropa, pilas, acumuladores, muebles y enseres así como los residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria.

Tendrán la consideración de residuos domésticos los residuos procedentes de limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas, los animales domésticos muertos y los vehículos abandonados.

La problemática medioambiental derivada de su vertido incontrolado es causa de graves afecciones ambientales [UNED, 2016]:

1. Contaminación de suelos.
2. Contaminación de acuíferos por lixiviados.
3. Contaminación de las aguas superficiales.
4. Emisión de gases de efecto invernadero fruto de la combustión incontrolada de los materiales allí vertidos.
5. Ocupación incontrolada del territorio generando la destrucción del paisaje y de los espacios naturales.
6. Creación de focos infecciosos. Proliferación de plagas de roedores e insectos.
7. Producción de malos olores.

2.1.2. Residuos generados en la incineración de RSU

2.1.2.1. Escorias

Las escorias son el material más voluminoso y no combustible que queda después de la incineración y son recogidas en los extractores de escorias donde se las sumergen en estanques de agua para enfriarlas, después son depositadas mediante una cinta transportadora.

Estos residuos son gestionados, en vertederos o se aprovechan como materia prima en obra civil, ya sea regenerando terrenos, o como áridos para hormigón. Sin embargo, existen acopios de escorias que son almacenadas por un tiempo llamando a este periodo etapa de envejecimiento o maduración, luego serán aprovechados.

La escoria puede contener [Flor Granda, M., 2006]:

- Materia orgánica: dioxinas, y furanos (apartado 2.2.6)
- Metales Pesados (apartado 2.2.2)

2.1.2.2. *Cenizas volantes y los residuos de la depuración de gases*

Las cenizas volantes y los residuos de la depuración de gases poseen un carácter más perjudicial que las escorias (pero solo constituyen el 10% de los subproductos de la incineración de RSU, el resto son escorias).

Estos residuos, después de un acondicionamiento exhaustivo son utilizados para la fabricación de áridos finos en asfalto y presentan la misma problemática que la escoria, además de contener elementos particulados (apartado 2.2.1) [Flor Granda, M., 2006].

2.1.3. Residuos peligrosos

Son aquellos residuos que presentan una o varias de las características peligrosas enumeradas en el anexo III de la Ley 22/2011, y aquellos que puedan aprobar el Gobierno de conformidad con lo establecido en la normativa europea o en los convenios internacionales de los que España sea parte, así como los recipientes y envases que los hayan contenido.

2.1.4. Principio de jerarquía de los residuos

El principio de jerarquía de residuos, definido por la Directiva 2008/98/CE del parlamento europeo y del consejo, (19 de noviembre de 2008 sobre residuos) establece el orden de prioridades representado en la Figura 2.1.

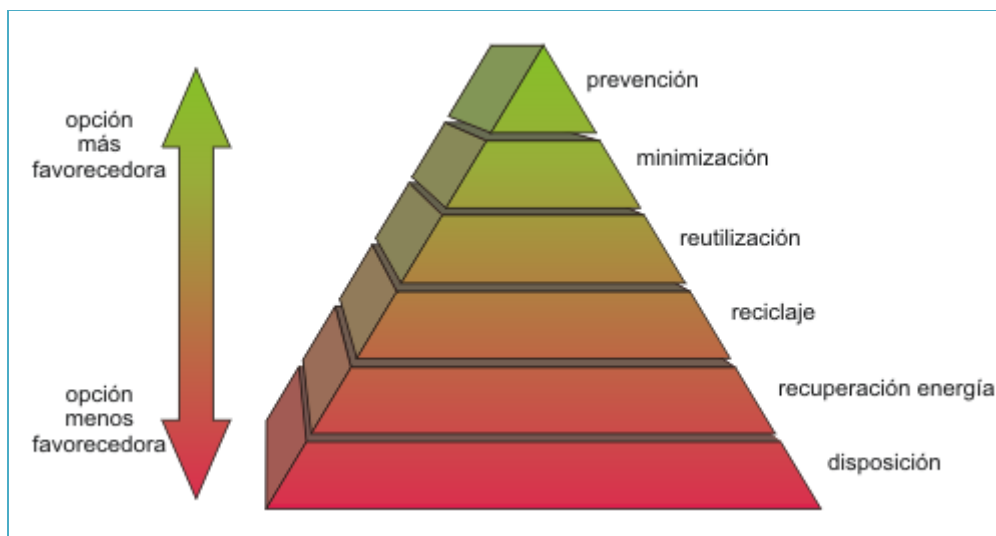


Figura 2.1 Principio de jerarquía de residuos. Fuente: Directiva 2008/98/CE

2.2. Emisiones

Las emisiones procedentes de una incineradora de RSU deben cumplir los límites que fijan las normas legales por lo que es preciso dotar a la instalación de una serie de técnicas capaces de destruir o retener los diferentes tipos de contaminantes.

2.2.1. Partículas

Forman parte de estas partículas las cenizas volantes y los finos arrastrados en el horno, los componentes condensados y los reactivos y productos de reacción formados como consecuencia de los compuestos empleados en equipos de depuración para otros contaminantes. Por ello, el método de retención depende tanto del tipo de horno como del sistema de depuración general. La propia caldera de recuperación constituye un elemento de eliminación de partículas que complementado con precipitadores electrostáticos o filtros de mangas las emisiones a valores inferiores a 10 mg/Nm^3 pudiendo alcanzarse valores entre 10 y 100 veces menores (apartado 1.5).

El material particulado atmosférico engloba una gran variedad de compuestos que varían ampliamente tanto en sus características físico-químicas, como en su origen

y vías de formación, y por tanto en sus efectos sobre la salud y el medio ambiente [MMA, 2016].

La normativa y los métodos de muestreo se centran en el tamaño de las partículas, ya que resulta ser el principal factor limitante para la mayor o menor penetración en las vías respiratorias. Por ello, las redes de control llevan a cabo la determinación de aquellas partículas de menos de 10 μm de diámetro, denominadas PM10, que son las que presentan una mayor capacidad de acceso a las vías respiratorias y por lo tanto mayor afección a las mismas. Dentro de la fracción PM10, las partículas más pequeñas (menores de 2,5 μm , PM2,5) se depositan en los alvéolos, la parte más profunda del sistema respiratorio, quedando atrapadas y pudiendo generar efectos más severos sobre la salud [MMA, 2016].

Asimismo, dependiendo de su tamaño, las partículas se comportan de manera distinta en la atmósfera: las más pequeñas se pueden mantener suspendidas durante largos periodos y viajar cientos de kilómetros mientras que las partículas más grandes no se sostienen en el aire mucho tiempo y tienden a depositarse más cerca de su lugar de origen.

2.2.2. Metales pesados

Muchos metales pesados solo aparecen en fase sólida, Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, con lo cual sus emisiones dependerán de que se realice una adecuada separación de los materiales que los contengan y de la eficacia de la tecnología empleada para retener las partículas.

Los restantes metales pesados de interés medioambiental, Cd, Hg, As, aparecen tanto en las partículas sólidas como en la fase gaseosa. Por este motivo su retención requiere el empleo de una técnica adicional. Los metales pesados disueltos en los gases son retenido por el carbón activo.

La peligrosidad de los metales pesados reside en que no pueden ser degradados (ni química, ni biológicamente) y, además, tienden a acumularse en los organismos vivos alcanzando concentraciones mayores que la que alcanzan en los alimentos o medioambiente, y que estas concentraciones aumentan a medida que ascendemos en la cadena alimentaria), provocando efectos tóxicos de muy diverso carácter. En el ser humano se han detectado infinidad de efectos físicos (dolores crónicos, problemas sanguíneos, etc.) y efectos psíquicos (ansiedad, pasividad, etc.) [MMA, 2016]

2.2.3. Monóxido de carbono (CO)

Los sistemas de depuración de gases no incorporan equipos específicos para destruir o retener estos contaminantes por lo que la mayor o menor concentración en los gases emitidos depende del comportamiento de la combustión. El comportamiento del horno y de la cámara de postcombustión son los que permiten que el CO no alcance los límites establecidos.

Es un gas inodoro, incoloro, inflamable y altamente tóxico. Puede causar la muerte cuando se respira en niveles elevados [MMA, 2016].

2.2.4. Gases ácidos.

El depósito de los tres contaminantes acidificantes más importantes, el dióxido de azufre (SO_2), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el amoníaco (NH_3) puede causar grandes daños a los ecosistemas naturales sensibles a la acidificación [MMA, 2016].

Las emisiones de estos contaminantes a la atmósfera regresan a la superficie directamente en forma de depósito seco o húmedo (si viene arrastrado por lluvias, nieve, granizo, etc.); o indirectamente, después de haber sufrido una transformación química. La oxidación del SO_2 y NO_x en ácido sulfúrico (H_2SO_4) o nítrico (HNO_3) puede producirse tanto en la atmósfera como después de haberse depositado. El NH_3 puede reaccionar con estos ácidos para formar partículas de sulfato amónico $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ y de nitrato amónico $(\text{NH}_4)(\text{NO}_3)$ [MMA, 2016].

Los gases acidificantes se dispersan y pueden permanecer en el aire durante varios días y ser transportados a largas distancias, provocando efectos en zonas muy alejadas de su fuente de emisión. El problema de la acidificación trasciende las fronteras, por lo que es preciso combinar iniciativas nacionales e internacionales para reducir las emisiones de estos gases [MMA, 2016].

La retención de los gases ácidos puede efectuarse de diferentes maneras (apartado 1.5).

2.2.5. Los óxidos de nitrógeno (NO_x)

El NO_x es un término genérico que hace referencia a un grupo de gases muy reactivos (tales como el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2)) que contienen nitrógeno y oxígeno en diversas proporciones.

Muchos de los óxidos de nitrógeno son incoloros e inodoros. Sin embargo, el dióxido de nitrógeno (NO_2), un contaminante común, forma en el aire junto a las partículas en suspensión una capa entre rojiza y marrón que cubre muchas zonas urbanas.

Los óxidos de nitrógeno se forman cuando se quema combustible. Las principales fuentes de NO_x son los automóviles, las centrales eléctricas y otras fuentes industriales, comerciales y domésticas que queman combustibles.

En la atmósfera, los óxidos de nitrógeno pueden contribuir a la formación de ozono fotoquímico (smog⁷ o niebla contaminante) y tener consecuencias para la salud. También contribuye al calentamiento global y puede provocar lluvia ácida [EPA. SA., 2004].

2.2.5.1. *Los NO_x que se producen en la combustión de los residuos*

Las emisiones de NO_x provenientes de la combustión de los residuos son principalmente en la forma de NO (cerca del 95% del NO_x se presenta en esta forma en los gases de combustión). El resto es dióxido de nitrógeno (NO₂), el cual es inestable a altas temperaturas.

Una vez que el gas de combustión es emitido a la atmósfera, la mayor parte de NO_x es finalmente convertido a NO₂.

En las plantas incineradoras de residuos municipales, las concentraciones medidas de NO_x están normalmente en el rango de 100 a 450 mg/Nm³, siendo el rango de valores más típicos de entre 200 y 400 mg/Nm³, medidos como NO₂, referidos a Condiciones Normales, 11% de O₂ y gas seco.

La Directiva 2010/75/UE establece, para las instalaciones de incineración existentes de capacidad nominal superior a 6 toneladas por hora y para las instalaciones de incineración nuevas, un valor límite medio diario de emisión a la atmósfera, para la suma de monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂), expresados como dióxido de nitrógeno (NO₂), de 200 mg/Nm³ de gas seco, en condiciones normales y 11% O₂. En idénticas condiciones, el valor límite establecido para las instalaciones de incineración ya existentes de capacidad nominal no superior a 6 toneladas por hora es de 400 mg/Nm³.

Además, la Directiva, para las instalaciones de incineración existentes de capacidad nominal superior a 6 toneladas por hora y para las instalaciones de

⁷ Palabra inglesa *smog* (de *smoke*: humo y *fog*: niebla). Se traduce por neblumo (niebla y humo).

incineración nuevas, indica que se considerará que se cumple el valor límite de emisión a la atmósfera si ningún valor medio semihorario supera el valor de 400 mg/Nm^3 de gas seco, en condiciones normales y $11\% \text{O}_2$, o cuando, en idénticas condiciones, el 97% de los valores medios semihorarios⁸, a lo largo del año, no supera el valor de 200 mg/Nm^3 .

Los valores arriba expuestos indican que, prácticamente con seguridad, será necesario adoptar medidas correctoras en todas las instalaciones de incineración de residuos municipales nuevas y en todas las instalaciones de incineración de residuos municipales existentes de capacidad nominal superior a 6 toneladas por hora.

Para conocer las tecnologías que se utilizan para la reducción de los NO_x en las emisiones de una incineradora de RSU dirigirse al Apartado 1.2.5.3.

2.2.6. Dioxinas y furanos

Las policlorodibenzodioxinas, PCDD, y policlorodibenzofuranos, PCDF, especialmente la 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-*p*-dioxina (TCDD), han generado un enorme interés y preocupación en la población, fundamentalmente como consecuencia del accidente que a mediados de los 70 se produjo en una industria química de Seveso (Italia), contaminando una importante zona alrededor de la misma, e iniciándose toda una serie de investigaciones dirigidas a conocer el grado de contaminación ambiental y los efectos para la salud de los residentes según distintos niveles de exposición [IARC., 1997].

El impacto mediático del término «dioxina» en la población se deriva de la alta toxicidad encontrada en estudios con animales de experimentación y a sus características físico-químicas, entre ellas su alta estabilidad química y liposolubilidad, y biológicas, alta resistencia a su degradación metabólica, las cuales confieren a este grupo de sustancias una gran capacidad de persistencia y bioacumulación.

⁸ Cada media hora.

La TCDD está clasificada como cancerígena por la Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer (I.A.R.C.). Los estudios toxicológicos revelan una amplia gama de efectos adversos: cáncer, toxicidad para el sistema reproductivo, inmunosupresión, hepatotoxicidad, disfunción neurológica y dermatotoxicidad [IARC., 1997].

Los efectos para los que se establece suficiente grado de asociación son: sarcoma de tejidos blandos, linfoma de no-Hodgkin y cloracné. Aquellos para los cuales se considera que el grado de evidencia es limitado o sugerente son: cánceres respiratorios, cáncer de próstata, mieloma múltiple, espina bífida y porfiria adquirida. Otros efectos adversos han sido asociados con un grado menor de evidencia. Las cohortes⁹ que se han estudiado con más profundidad son la de Seveso, la de Yuso y Yucheng en Taiwán, expuestas a través de aceite contaminado con una mezcla comercial de Policlorobifenilos (PCBs) y dioxinas y la población del entorno de los Grandes Lagos en EE.UU., expuesta a través de la ingesta de pescado contaminado [IARC., 1997] .

Otras cohortes, como la del personal militar americano en contacto con los plaguicidas fenoxiácidos en Vietnam, también han servido como una fuente importante de información.

La situación de la población general no expuesta ocupacionalmente ni a episodios accidentales no puede considerarse similar a la señalada anteriormente. Se considera que la población general está expuesta a dioxinas fundamentalmente a través de la dieta (>90%).

La exposición por vía aérea, contaminación atmosférica y por vía dérmica se considera inferior a 10%. En términos de fuentes de exposición humana, es importante señalar la originada como consecuencia del hábito de fumar. De hecho, la exposición de los fumadores puede ser varios órdenes de magnitud superior que la que se produce por

⁹ Conjunto de personas comprendida en un rango de edad.

vía inhalatoria por los residentes en el entorno de una incineradora moderna que respete la legislación europea.

Tal y como se ha señalado, la exposición a través de los alimentos es la vía principal de exposición para la población general y supone más del 90% de la exposición ambiental. Así mismo se considera que, en general, la exposición por alimentos de origen animal supone a su vez el 80%-90% de la alimentaria.

Los resultados de un estudio similar realizado en 1996 en Tarragona, sobre alimentos de origen animal, aportan valores muy similares, 117 I-TEQ pg/día. Estos valores son a su vez muy parecidos a los observados en otros estudios de dieta realizados en países occidentales [Domingo, J. L. et al., 1997].

2.2.6.1. Fuentes de dioxinas

En general, se considera que un proceso es «previsiblemente» generador de dioxinas cuando se producen procesos térmicos a temperatura inferior a 800°C, existe una fuente de materia orgánica y están presentes átomos de halógeno en un medio alcalino. Parece que determinados metales favorecen las reacciones de formación de dichos compuestos.

Las fuentes de este tipo de contaminantes tienen una distribución muy amplia, ya que muchos procesos industriales, actividades domésticas o hábitos como el tabáquico pueden considerarse como tales, si bien su impacto ambiental o a escala de individuo puede ser de una magnitud marcadamente diferente.

Las principales fuentes ambientales de dioxinas son procesos térmicos o de síntesis en los que se generan subproductos. Entre ellos son destacables [OMS., 2014]:

- Las erupciones volcánicas
- Los incendios forestales
- La fundición

- El blanqueo de la pasta de papel con cloro
- La fabricación de algunos herbicidas y plaguicidas
- La incineración descontrolada de desechos (sólidos y hospitalarios) suele ser la causa más grave. En cuanto a la liberación de dioxinas al medio ambiente, dado que la combustión es incompleta. Existe tecnología que permite la incineración controlada de desechos con bajas emisiones, como el caso que nos ocupa.
- Las emisiones de tráfico

Existen en todo el mundo grandes depósitos de aceites industriales de desecho con PCB, muchos con grandes concentraciones de PCDF. El almacenamiento prolongado y la eliminación inadecuada de este material puede liberar dioxinas hacia el medio ambiente y contaminar los alimentos humanos y animales. Los residuos con PCB no se pueden eliminar fácilmente sin que contaminen el medio ambiente y la población humana. Esos materiales tienen que ser tratados como residuos peligrosos, y lo mejor es destruirlos mediante incineración a altas temperaturas en instalaciones especializadas.

2.2.6.2. Incineración y dioxinas

La política actual de los países desarrollados en relación con la gestión de los residuos sólidos se basa en la aplicación de los criterios de minimización, recuperación y reciclado de los residuos y materiales. Sin embargo, siempre queda una cantidad de residuo difícil o imposible de aprovechar y que es necesario tratar. Una solución adoptada frecuentemente es la revalorización de los residuos basada en la aplicación de tratamientos térmicos controlados, es decir, en la incineración de los mismos.

Existen, por supuesto, alternativas a este sistema de tratamiento como el vertido controlado, la pirólisis, el plasma, la digestión anaeróbica, el reciclado químico o la producción de combustible, algunos de ellos no totalmente desarrollados tecnológicamente para su uso a gran escala.

Entre las plantas de incineración de residuos deben diferenciarse aquellas que utilizan como material combustible los RU de aquellas que utilizan residuos hospitalarios o peligrosos, ya que estos últimos son, en general, generadores de mayores cantidades de contaminantes atmosféricos tipo metales pesados o dioxinas.

La directiva 94/67/CE del Consejo de 16 de diciembre de 1994, relativa a la incineración de residuos peligrosos, estableció un nivel máximo de emisiones de PCDDs/PCDFs a la atmósfera de 0,1 ng I-TEQ/Nm³. Sin duda, esta norma tuvo un importante valor a la hora de innovar tecnologías obsoletas, procediendo al cierre o renovación de las instalaciones ya existentes y diseñando y construyendo nuevas instalaciones con tecnología apropiada, utilizando sistemas de depuración de gases más avanzados [Quass, Ulrich. et al., 2000].

Por ejemplo, en Alemania se ha estimado que las emisiones globales de PCDDs/PCDFs han disminuido más de un 90%, a la vez que la emisiones procedentes de plantas incineradoras de RU disminuyeron más del 99%, es decir, la contribución de las plantas pasó de representar aproximadamente un 25% a finales de los 80 a menos de un 0,5% en el año 2000 [EDEI., 2000].

Sin embargo, la situación no es igual en todos los países sobre los que existe información del catálogo de fuentes de emisión, produciéndose variaciones que en buena medida tienen que ver con la renovación de las instalaciones y tecnología aplicada en las plantas de incineración de residuos en general.

En relación a la contribución de las fuentes de incineración de RU a las emisiones de dioxinas, algunos autores incluso apuntan la idea de que las incineradoras de RSU que utilizan tecnología avanzada sean sumideros de PCDDs/PCDFs, en donde las salidas pueden ser inferiores a las entradas [SÁNCHEZ GELABERT, J. I. et al., 2008].

2.2.6.3. Estudios epidemiológicos sobre los efectos adversos para la salud derivados de las plantas de incineración de RU anteriores a la Directiva 2000/76/CE (Antiguas)

La investigación epidemiológica realizada con el objetivo de analizar los efectos adversos para la salud derivados de la exposición a dioxinas proviene fundamentalmente de situaciones accidentales en las que se ha producido una exposición generalmente importante y frecuentemente inadvertida a cantidades mayores que las que está expuesta la población general.

La incidencia o mortalidad por cáncer han sido los resultados más frecuentemente estudiados, aunque también se han analizado efectos adversos en la reproducción y desarrollo [Vrijheid, M. et al., 2002].

Numerosos estudios que se han centrado en los efectos adversos generados en la población general expuesta a las emisiones de las plantas de incineración de RU. Este hecho se debe de alguna manera a la gran alarma social generada por la instalación de estos sistemas de tratamiento. Por lo tanto la forma de gestionar este tipo de situaciones tiene que ser extremadamente cuidadosa y requiere la dedicación de importantes recursos, tanto en la realización de estudios de impacto ambiental como en el manejo de la información que desde las instituciones debe dirigirse a la población cercana a dichas instalaciones.

Todo ello, sin embargo, no garantiza que los planes de gestión de RU de un área determinada se ejecuten tal y como han sido previamente establecidos, bien porque no se han seguido los pasos y actuaciones apropiadas en cada momento o bien porque, a pesar de haberlo hecho de una forma «razonable», la problemática social generada supera las posibilidades de conducir «el problema» de forma satisfactoria para todos los actores implicados.

Por supuesto, una de las razones aducidas por la población afectada por la instalación de una planta de incineración de RU es la de los importantes efectos

adversos para la salud que se pueden producir, fundamentalmente a través de la exposición a dioxinas [Elliott, P. et al., 2001].

En este capítulo no se van a valorar los posibles riesgos derivados de la exposición o residencia próxima a otras instalaciones utilizadas en la gestión de RU o de otra naturaleza.

Los estudios epidemiológicos realizados con el objetivo de analizar efectos adversos en la población que reside en el entorno de una incineradora de RU se han centrado fundamentalmente en efectos en la reproducción y desarrollo, en el sistema respiratorio y en cáncer [Hu, S. W.; Shy, C. M., 2001]. Presentaremos de forma resumida los principales resultados para cada tipo de efectos:

- Efectos reproductivos y en el desarrollo
- Efectos respiratorios
- Efectos cancerígenos

2.2.6.3.1. Efectos reproductivos y en el desarrollo

Entre los efectos estudiados tenemos la frecuencia de gemelos, la incidencia de hendidura palatal y labio leporino, otras malformaciones congénitas y la razón de sexos en los recién nacidos. En términos generales, se ha encontrado cierta asociación entre los efectos mencionados y la residencia en entornos contaminados. Estos últimos son consecuencia de la exposición de la población a las emisiones de plantas de incineración de RU y peligrosos, de vías de comunicación con alta densidad de tráfico y de otras actividades industriales. Se han comparado poblaciones residentes en zonas más cercanas con aquellas que vivían más alejadas de dichas fuentes, supuestamente menos contaminadas. Se ha señalado que uno de los posibles mecanismos de actuación que podría producir efectos adversos en la reproducción es el carácter estrogénico¹⁰ o

¹⁰ Estrogénico: que estimula la producción de estrógenos (son grupo de hormonas esteroideas que estimulan el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios femeninos).

antiestrogénico de algunos compuestos organoclorados quemados y/o emitidos por dichas fuentes de contaminación [Jansson, B. et al., 2004].

Recientemente, se han publicado varios estudios, uno realizado en Bélgica, otro en Francia, dos en Alemania y dos en Inglaterra. En el primero de ellos [Staessen, J. A. et al., 2001] se midió la concentración en sangre de plomo, cadmio, PCBs y compuestos tipo dioxina (ensayo «in vitro», Calux assay) y la concentración en orina de cadmio y 1-hidroxi pireno (indicador de exposición a hidrocarburos aromáticos policíclicos) y de metabolitos del benceno y tolueno. Los 200 adolescentes reclutados procedían de dos zonas contaminadas por una fundición de plomo, una imprenta, dos incineradoras de RU y otras industrias, además de carreteras con alta densidad de tráfico y de una zona rural utilizada como control. Las incineradoras fueron cerradas a finales de la década de los 90 por incumplir los niveles de emisión permitidos por la legislación de la Comunidad Europea.

Los resultados del estudio muestran que buena parte de los contaminantes medidos en sangre y orina eran superiores en los residentes de las zonas contaminadas. Los niveles de PCBs fueron superiores en los jóvenes que residían cerca de las incineradoras, mientras que los niveles de compuestos que actúan como dioxinas fueron superiores en la zona próxima a la fundición de plomo. Los jóvenes que vivían más cerca de las incineradoras mostraron evidencias de una maduración sexual más tardía y los de las dos zonas contaminadas, un volumen testicular menor que los procedentes de la zona rural. El volumen testicular no se asoció con la concentración de PCBs o dioxinas.

Sin embargo, sí se observó asociación entre los niveles de PCBs y desarrollo genital más lento en chicos, y entre compuestos que funcionan como dioxinas y desarrollo mamario más lento en chicas. El estudio no atribuye a una fuente única de contaminación la asociación entre los niveles de contaminante en sangre u orina y los efectos observados.

Los autores del estudio destacan el valor, desde el punto de vista de la salud pública, de la utilización de biomarcadores de exposición y efecto temprano para detectar efectos biológicos anteriores al desarrollo de la enfermedad y, por tanto, útiles para informar de la necesidad de una posible «intervención».

En la región francesa de Rhône-Alpes se ha estudiado el impacto de la emisión de las incineradoras en la tasa de anomalías congénitas. Esta región dispone desde 1978 de un registro poblacional de este tipo de anomalías (Registro del Centro-Este de Francia). De las 2.879 comunidades que hay en la región, seleccionaron para el estudio las 2.872 que tienen menos de 50.000 habitantes. En toda la región se identificaron 70 incineradoras que a lo largo del periodo de estudio (1988-1997) habían estado en funcionamiento durante al menos un año [Cordier, S. et al., 2004].

La exposición se definió a partir de la inmisión de cada uno de los contaminantes calculada con un modelo Gaussiano, en el que, al no disponerse de medidas de la emisión, se introducía una estimación semicuantitativa realizada para cada una de las incineradoras por un grupo de expertos, para lo que habían tenido en cuenta las siguientes variables: capacidad de la planta, régimen de funcionamiento, control de polvo, tratamiento de las emisiones y año de inicio de la actividad. El índice de inmisión asignado a cada una de las 2.872 comunidades fue el estimado para el punto geográfico de mayor densidad de población. Fueron consideradas expuestas 194 comunidades y no expuestas, 2.678. Mediante modelos de Poisson se estimaron los riesgos relativos para el conjunto de anomalías congénitas, para distintos grupos de anomalías e individualmente para algunas de ellas, ajustados por año de nacimiento, edad de la madre, departamento de nacimiento, densidad de población, ingresos familiares medios y, cuando se disponía de la información, tráfico local.

El estudio mostró que la tasa global de malformaciones no era mayor en las áreas expuestas que en las no expuestas (RR^{11} : 1,04; IC^{12} al 95%: 0,97-1,11); se observó un exceso de riesgo para algunos grupos de anomalías: hendiduras faciales (RR : 1,30;

¹¹ Riesgo Relativo

¹² Intervalo de Confianza

IC al 95%: 1,06-1,59) y displasia renal (RR: 1,55; IC al 95%: 1,10-2,20). En las comunidades expuestas se encontró una relación dosis respuesta entre las uropatías obstructivas y el incremento de la exposición. Además, se observó una relación lineal entre el riesgo de anomalías cardíacas, uropatías obstructivas y anomalías en la piel y la densidad del tráfico. Aunque las asociaciones encontradas son biológicamente plausibles, los mismos autores concluyen que hay que ser muy cautos a la hora de valorarlas por las limitaciones que presenta el estudio, relacionadas fundamentalmente con la forma de estimar la exposición, lo que hace que no se puedan descartar otras explicaciones a las asociaciones encontradas. Por otra parte, señalan que si hubiera alguna relación entre los efectos observados y la exposición a las incineradoras debería atribuirse a la persistencia de la contaminación generada por incineradoras de tecnología antigua.

En la región de Cumbria (Gran Bretaña) se ha estudiado el posible efecto de la contaminación generada por instalaciones industriales peligrosas en la mortalidad neonatal, los nacidos muertos y en la anomalías congénitas letales, utilizando una cohorte retrospectiva que abarcaba el periodo entre 1950 y 1993 [Dummer, T. J. et al., 2003]. Los autores no encontraron riesgos significativos para los residentes en las cercanías de dichas instalaciones para ninguno de los efectos estudiados, salvo para las muertes por defectos congénitos cardíacos y sólo en el periodo 1983-93. En general, no se encontró evidencia que sugiriera un incremento de riesgo en los embarazos de mujeres que vivían cerca de instalaciones industriales peligrosas. Entre las instalaciones identificadas en la zona se encuentra un amplio abanico de industrias del sector químico, del metal y plástico, así como instalaciones que trabajaban con radionúclidos, excluyéndose las de incineración y los vertederos.

Cuando los mismos autores investigaron la posible asociación entre los efectos anteriormente señalados y la cercanía de la residencia de las madres embarazadas a plantas de incineración y crematorios de la región [Dummer, T. J. B. et al., 2003], los resultados mostraron un leve incremento significativo para anomalías congénitas letales, fundamentalmente para espina bífida y para anomalías cardíacas. En la región de Cumbria solamente se identificaron cuatro incineradoras, tres de ellas construidas antes

de 1980, para las cuales no se aportó ningún dato de sus niveles de emisión, ni de la tecnología del proceso de incineración y tratamiento de emisiones. Los autores hacen hincapié en la necesidad de investigar este tipo de efectos utilizando niveles de contaminación reales.

También señalan la ausencia de información sobre otros posibles factores de riesgo ambientales (dos de las zonas estudiadas estaban ubicadas en las cercanías de otras fuentes industriales definidas como peligrosas), de la dieta u ocupacionales, concluyendo que solamente pueden identificar una asociación estadística para la cual no pueden establecer plausibilidad biológica.

En el Estado federal de Hessen (Alemania) se ha estudiado el efecto de los niveles de PCBs, Cd y Pb medidos en sangre de niños de 7 a 10 años en los niveles de hormonas tiroideas: TSH, triyodotironina (T3) y tiroxina (T4) [Osius, N. et al., 1999].

La zona de estudio incluía un área próxima a una planta de incineración de residuos peligrosos (autorizada para la quema de residuos altamente contaminados con PCBs) en la que también existe un polígono químico y fuerte actividad agrícola, un área control, también con fuerte actividad industrial y agrícola, y otra área control descrita como ligeramente montañosa.

Los resultados del estudio muestran una asociación entre los niveles de Cd en sangre y un incremento de los niveles de TSH y una disminución de los de T4, una asociación positiva entre niveles en sangre de PCB 118 y TSH, y una asociación negativa entre PCB 138, 153, 180, 183 y 187 y niveles de T3. Los cambios encontrados en los niveles de T3 del grupo de población estudiado no se caracterizarían como una alteración funcional, sino más bien como un moderado desplazamiento dentro de los valores normales.

El mismo equipo de investigadores estudió la incidencia de gemelos en la zona próxima a la incineradora de residuos peligrosos, comparándola con la de las dos zonas de referencia mencionadas anteriormente [Obi-Osius, N. et al., 2004]. Se analizaron

20.603 nacimientos del periodo 1994-97, utilizando la información aportada por el registro perinatal de Hessen.

La incidencia de gemelos fue superior (1,4-1,6 por 100 nacimientos) en la zona próxima a la incineradora y otras industrias que en las zonas de referencia (0,8 por 100 nacimientos). Los autores concluyen que el incremento de tasas puede estar asociado a la exposición de contaminación ambiental generada en entornos con este tipo de incineradoras y otras industrias contaminantes.

2.2.6.3.2. *Efectos respiratorios*

Los efectos adversos estudiados incluyen la prevalencia de enfermedades respiratorias agudas y crónicas, frecuencia de síntomas, hipersensibilidad de las vías respiratorias, atopia e indicadores de función respiratoria [Hu, S. W. et al., 2001].

En términos generales no se observan diferencias significativas entre las poblaciones expuestas y las no expuestas en relación a la prevalencia de enfermedades o síntomas respiratorios.

2.2.6.3.3. *Efectos cancerígenos*

Se ha realizado un número reducido de estudios epidemiológicos con el objetivo de investigar la posible asociación entre vivir en el entorno de incineradoras de residuos y el cáncer.

También se han llevado a cabo varias valoraciones del riesgo cancerígeno derivado del hecho de vivir en el entorno de este tipo de instalaciones. Se ha realizado en Gran Bretaña un primer estudio epidemiológico en el entorno de 10 plantas incineradoras de residuos químicos (solventes y aceites) y no encontraron exceso de cáncer de laringe o de pulmón entre los residentes en las cercanías de dichas instalaciones cuando se compararon con los estándares del país.

Tampoco encontraron un incremento de la incidencia de todos los tipos de cáncer relacionado con la proximidad de la residencia a las incineradoras [Elliott, P. et al., 1992].

Es importante señalar que las características de las instalaciones estudiadas no se corresponden con las que actualmente se requieren a las incineradoras, ya que todas comenzaron a funcionar antes de 1976.

Los autores sugieren que, en general, dada la ubicación de las incineradoras, es difícil separar el efecto de las mismas del efecto de otras fuentes de combustión ubicadas en el mismo área, que también son generadoras de dioxinas [Knox, E., 2000].

Por último, el hecho de encontrar una asociación positiva cuando se realizan múltiples comparaciones conduce a que no sea descartable que el posible responsable de la misma sea el azar [Michelozzi, P. et al., 1998]. Recientemente se han dado a conocer los resultados de un estudio preliminar realizado en un área con diversas fuentes de contaminación del sudeste de Pisa (carreteras con tráfico muy denso y una planta de incineración de RU con 20 años de funcionamiento), llevado a cabo como consecuencia de una demanda de la población ante la intención de construir en la zona una planta adicional de incineración, en este caso de residuos peligrosos.

Entre las múltiples asociaciones analizadas se observa un incremento significativo de leucemias en mujeres. Sin embargo, los autores señalan que el diseño descriptivo no permite obtener conclusiones de causalidad entre los niveles de contaminación y los efectos adversos para la salud asociados a este tipo de exposiciones, ya que en general no se observan diferencias significativas con lo que sería esperado utilizando como referencia las tasas de Pisa [Bianchi, F. et al., 2003].

Finalmente, hay que señalar que en Japón se llevó a cabo un estudio para comparar las tasas de mortalidad, por todas las causas y por cinco grupos de enfermedades principales, de 590 municipios con plantas de incineración de residuos con las de municipios sin plantas de incineración.

Como indicadores de exposición a dioxinas se utilizaron las concentraciones de emisión de dioxinas de las incineradoras, la cantidad de dioxinas por población, la cantidad acumulada de dioxinas y la cantidad de dioxinas acumuladas por unidad de área. Los resultados no mostraron diferencias significativas para ninguna de las causas de muerte analizadas cuando se ajustaron por las características socioeconómicas de las ciudades [Fukuda, Y. et al., 2003].

2.2.6.4. Efectos sobre la salud de las incineradoras de RSU posteriores a la Directiva 2000/76/CE (Modernas)

La importancia de la incineración de RSU en el contexto europeo es cada día mayor. Tras la publicación de la Directiva Europea de residuos (2008/98/CE), la valorización energética está contemplada como una de las mejores opciones en cuanto a su impacto ambiental y en la salud. En este sentido, los países que están más concienciados con el medio ambiente y llevan a cabo políticas de prevención apuestan por la incineración como el modelo más válido y sostenible, a parte del reciclado [SIRUSA., 2009].

El establecimiento de límites a las incineradoras ha disminuido muy eficazmente sus emisiones, y se ha demostrado que, una vez establecidas las soluciones técnicas precisas y los límites de emisión, su aportación como foco de contaminación ha ido disminuyendo progresivamente.

Según un estudio del Ministerio de Medio Ambiente alemán, sólo las chimeneas y estufas de las viviendas privadas generan 20 veces más dioxinas que las incineradoras. Por su parte, la Agencia de Protección Ambiental de Suiza, concluye en un estudio científico que la electricidad producida mediante la incineración de residuos tiene un impacto ambiental modesto. En el contexto mundial, Japón, considerado un país modélico en reutilización y reciclaje de residuos, presenta la cifra más elevada de incineradoras y la de mayor esperanza de vida del planeta [SIRUSA., 2009].

Por otra parte, se ha realizado un estudio en una incineradora de RSU que utiliza tecnología moderna, localizada en Bilbao. Se establecen distintos escenarios a partir de información disponible sobre hábitos alimentarios, contenido en dioxinas de los alimentos, mediciones de dioxinas en muestras ambientales (suelo, vegetales, aire) y lugar de residencia [Aurrekoetxea, J.J. et al., 2011].

En cada uno de los escenarios se calculan las dosis a las que puede estar expuesta la población y los riesgos asociados a esa exposición y se concluye lo siguiente:

- El incremento de exposición ambiental derivado de las emisiones de la planta al cabo de 40 años no superaría el 1,2% para ninguno de los contaminantes estudiados.
- Las emisiones de la Planta incrementarían para la población el 0,00319% de la exposición del plomo, el 0,00002% para el arsénico y el 0,00197% para las dioxinas.
- El riesgo global de cáncer se incrementaría en menos de 10^{-6} .

Un estudio publicado en Gran Bretaña en el año 2004, sobre los efectos sanitarios y medioambientales de la gestión de residuos ha hallado las claves siguientes [ECLTD., 2004]:

- La incineración moderna de RSU provoca menos del 1% de las emisiones de dioxinas en Gran Bretaña mientras que las fuentes domésticas, por ejemplo, cocinar y quemar carbón para la calefacción provocan el 18% de las emisiones.
- El nivel de riesgo de salud pública de las instalaciones anteriores fue sustancialmente más alta que el de los incineradores modernos.
- Las emisiones al aire de la incineración de RSU en el Reino Unido han cambiado considerablemente en los últimos 20 años, en respuesta a una legislación cada vez más estricta sobre las mismas. P. ej., las emisiones de

dioxinas por tonelada de residuos incinerados han disminuido en un 99,8% durante este período.

- En Gran Bretaña, menos del 1% de las emisiones de óxidos de nitrógeno, que reducen la calidad del aire, procede de la gestión de RSU, mientras que el 42% procede del tráfico.
- No se halló ninguna evidencia que sugiriera que es probable que las incineradoras de RSU vayan a tener consecuencias sobre la salud humana. Se tuvieron en cuenta el cáncer, las enfermedades respiratorias y los defectos de nacimiento con el fin de hallar un vínculo entre las enfermedades y las incineradoras.
- En comparación con otras tecnologías de gestión de residuos, la incineración produce las emisiones más importantes de óxidos de nitrógeno y ácido clorhídrico por tonelada de RSU. Sin embargo, los posibles efectos negativos, por ejemplo, el polvo, la pobre calidad del aire y las consecuencias sobre la calidad del agua, los suelos y la flora/fauna pueden controlarse en condiciones operativas normales.

Cabe destacar, por otro lado, la propuesta de Suecia para el año 2020 de ser el primer país mundial en prescindir del petróleo para obtener energía, basándose en la combustión de los residuos y la biomasa [SIRUSA., 2009].

La confusión existente en determinados colectivos de nuestro país sobre la contribución de la incineración a la emisión de dioxinas, se explica porque generalmente no se diferencian las viejas incineradoras con las actuales que cumplen estrictamente las condiciones de combustión y los límites de emisión de la Directiva Europea. La consecuencia de este rechazo hacia la incineración es que se colapsan los vertederos con la consiguiente oposición y rechazo social debido a las molestias que producen en el entorno.

En opinión de la responsable del proyecto “Inventario Nacional de Dioxinas y Furanos” del CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas del Ministerio Español de Ciencia e Innovación), los estudios demuestran

que la gran ubicuidad de los mismos es debida a sus características propias de COP (Compuestos Orgánicos Persistentes) y a la gran cantidad de fuentes que lo originan, no sólo las incineradoras sino otros muchos procesos de combustión y producción hasta ahora ignorados.

Finalmente, señalar que la incineración con recuperación de energía es actualmente una tecnología de valorización energética de RU fiable, robusta, consolidada, en expansión y con un mínimo impacto ambiental que contribuye a paliar las consecuencias de la crisis energética y del cambio climático, aprovechando un recurso renovable y sostenible [SIRUSA., 2009].

2.2.6.5. Niveles de exposición a dioxinas en la población general

Los niveles de dioxinas en tejido humano y su patrón (presencia relativa de diferentes congéneres) varían según el área geográfica. En general, se considera que los países industrializados presentan niveles superiores a los países en vía de desarrollo y que los niveles de dibenzodioxinas son superiores a los de dibenzofuranos [Schechter, A.; Gasiewicz, T. A., 2003].

La gran mayoría de los estudios que miden exposición biológica incluyen la determinación y cuantificación de las dibenzodioxinas y los dibenzofuranos que tienen posiciones 2,3,7,8 de su estructura química sustituidas con cloro, en total 17 congéneres (Figuras 2.2 y 2.3). Además, pueden incluirse los 12 congéneres de PCBs «tipo dioxina» (Figura 2.4). El fundamento bioquímico-toxicológico para agrupar las sustancias de esta manera se basa en su capacidad para unirse al receptor de hidrocarburo de arilo (Ah), específicamente en la afinidad de su unión con dicho receptor.

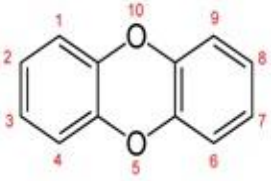
| Dibenzodioxinas policloradas (PCDDs) | Denominación | I-TEF |
|---|---|--------------|
|  | 2,3,7,8-Tetraclorodibenzodioxina (TCDD) | 1 |
| | 1,2,3,7,8-penta-CDD | 0.5 |
| | 1,2,3,4,7,8-penta-CDD | 0.1 |
| | 1,2,3,6,7,8-penta-CDD | 0.1 |
| | 1,2,3,7,8,9-penta-CDD | 0.1 |
| | 1,2,3,4,6,7,8-penta-CDD | 0.01 |
| | Octa-CDD | 0.001 |

Figura 2.2 Dioxinas y sus I-TEF (Factor Internacional de Equivalencia Tóxica) [CE., 2006]

La configuración planar de estas moléculas parece ser muy importante para poder unirse a este receptor y desencadenar buena parte de las respuestas toxicológicas atribuidas a las dioxinas. La valoración de la toxicidad de la exposición a una mezcla de PCDD/Fs y PCBs tipo dioxina se efectúa utilizando el factor de equivalencia toxicológica (TEF), el cual se establece para cada una de las formas moleculares anteriormente señaladas y representa un factor de ponderación en relación a la toxicidad de la 2,3,7,8-tetraclorodibenzodioxina.


| Dibenzofuranos policloradas (PCDFs) | Denominación | I-TEF |
|---|--|--------------|
|  | 2,3,7,8-tetraclorodibenzofurano (TCDF) | 0.1 |
| | 1,2,3,7,8-penta-CDF | 0.05 |
| | 2,3,4,7,8-penta-CDF | 0.5 |
| | 1,2,3,4,7,8-hexa-CDF | 0.1 |
| | 1,2,3,6,7,8-hexa-CDF | 0.1 |
| | 1,2,3,7,8,9-hexa-CDF | 0.1 |
| | 2,3,4,6,7,8-hexa-CDF | 0.1 |
| | 1,2,3,4,6,7,8-hepta-CDF | 0.01 |
| | 1,2,3,4,7,8,9-hepta-CDF | 0.01 |
| | Octa-CDF | 0.001 |

Figura 2.3 Furanos y sus I-TEF [CE., 2006]

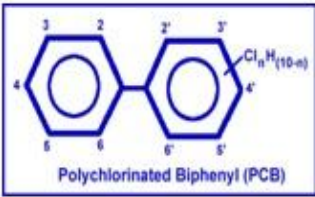
| Bifenilos policlorados | Denominación | I-TEF |
|---|---|---------|
|  <p>Polychlorinated Biphenyl (PCB)</p> | 3,3',4,4'-tetraclorobifenilo (CB). PCB 77 | 0.0001 |
| | 3,4,4',5-tetra-CB. PCB 81 | 0.0001 |
| | 2,3,3',4,4'-penta-CB. PCB 105 | 0.0001 |
| | 2,3,4,4',5-penta-CB. PCB 114 | 0.0005 |
| | 2,3',4,4',5-penta-CB. PCB 118 | 0.0001 |
| | 2',3,4,4',5-penta-CB. PCB 123 | 0.0001 |
| | 3,3',4,4',5-penta-CB. PCB 126 | 0.1 |
| | 2,3,3',4,4',5-hexa-CB. PCB 156 | 0.0005 |
| | 2,3,3',4,4',5'-hexa-CB. PCB 157 | 0.0005 |
| | 2,3',4,4',5,5'-hexa-CB. PCB 167 | 0.00001 |
| | 3,3',4,4',5,5-hexa-CB. PCB 169 | 0.01 |
| | 2,3,3',4,4',5,5'-hepta-CB. PCB 189 | 0.0001 |

Figura 2.4 PCBs y sus I-TEF [CE., 2006]

Este factor multiplicado por la cantidad de cada sustancia química nos permite calcular la cantidad toxicológica equivalente (TEQ) de la mezcla presente en una muestra ambiental o biológica.

Las poblaciones no expuestas ocupacionalmente con un mejor seguimiento de sus niveles de dioxinas en sangre son la alemana y la de EE.UU. En ambas se observa una disminución de los niveles de dioxinas o TEQ. En ambos países se produjo una reducción importante de los niveles detectados, probablemente como consecuencia de la toma de medidas regulatorias estrictas que condujeron a la reducción de las emisiones procedentes de la incineración y otros procesos industriales como la cloración de la pulpa de papel o la prohibición o restricción del uso de gasolinas con plomo [Schecter, A.; Gasiewicz, T. A., 2003].

Sin embargo, los últimos estudios realizados en Europa no apoyan que la rápida disminución observada en años anteriores se siga produciendo actualmente. Los niveles de dioxinas en sangre, expresados en TEQ, en los EE.UU. han descendido de 25.5 pg/g

de lípido en el año 1980 a 14.6 pg/g de lípido en el año 2000. En Alemania el nivel medio de dioxinas en sangre, expresado en TEQ, descendió desde los 42.6 pg/g de lípido en el año 1989 a los 15.3 pg/g de lípido en el año 1998-9 [Schechter, A.; Gasiewicz, T. A., 2003].

La escasísima información de los niveles de dioxinas en grupos de población con características singulares con respecto a su dieta, como la de los vegetarianos estrictos, nos señala que sus niveles son inferiores a los de la población general, lo que muestra que el consumo de alimentos grasos y de origen animal es una fuente importante de exposición.

La información de otros países es tal vez menos sistemática y más dispersa. En España se han estudiado al menos tres localizaciones: Madrid, Tarragona y Mataró (Barcelona), estas dos últimas en el entorno de una planta incineradora de RU. En Madrid, en un reducido número de muestras, 11 recogidas en 1993, se cuantificó un TEQ medio total por PCDD/Fs de aproximadamente 15 pg/g de lípido.

La contribución en peso de las PCDD fue muy superior a la de las PCDF (515.3 pg/g de lípido vs 66.7 pg/g de lípido), aunque la contribución en equivalentes tóxicos fue sólo ligeramente superior (8.78 pg/g de lípido vs 6.96 pg/g de lípido) [Jiménez, B. et al., 1995].

Los resultados del estudio de Tarragona muestra niveles de PCDD/DFs expresados en TEQ de 27.0 pg/g de lípido, no observándose diferencias significativas entre los residentes en la zona próxima a la planta incineradora de RU y los que residen más lejos (entre 3 y 5 km), o entre los residentes en zona urbana e industrial, ni entre ambos sexos.

Los autores señalan que los niveles más elevados encontrados con respecto a los de Madrid podrían deberse a diferencias en el método analítico utilizado, a la no representatividad de las muestras o a la importante contribución del consumo de pescado en la población de Tarragona [Schuhmacher, M. et al., 1999].

Capítulo 3

Situación de la incineración de RSU en España y Europa

3.1. Tratamiento de RSU en España.

En el Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) del Ministerio de Medio Ambiente, 2008-2015 [MMA., 2015], se fijó el objetivo de alcanzar una capacidad incineradora de $2,7 \times 10^6$ t/año en el año 2012.

Los resultados en España están bastante alejados de los de la UE-28. Se mantienen bajos porcentajes de incineración en las diez plantas existentes, a pesar de la Directiva de Residuos y su objetivo de vertido 0 (Figura 3.1).

Según se desprende de la Figura 3.1, la gran mayoría de la producción de RSU en España, alrededor de 60 %, acaba en vertederos. Es decir, se podría afirmar que en España aún no estamos aplicando el principio de jerarquía de residuos, definido en el apartado 2.1.4.

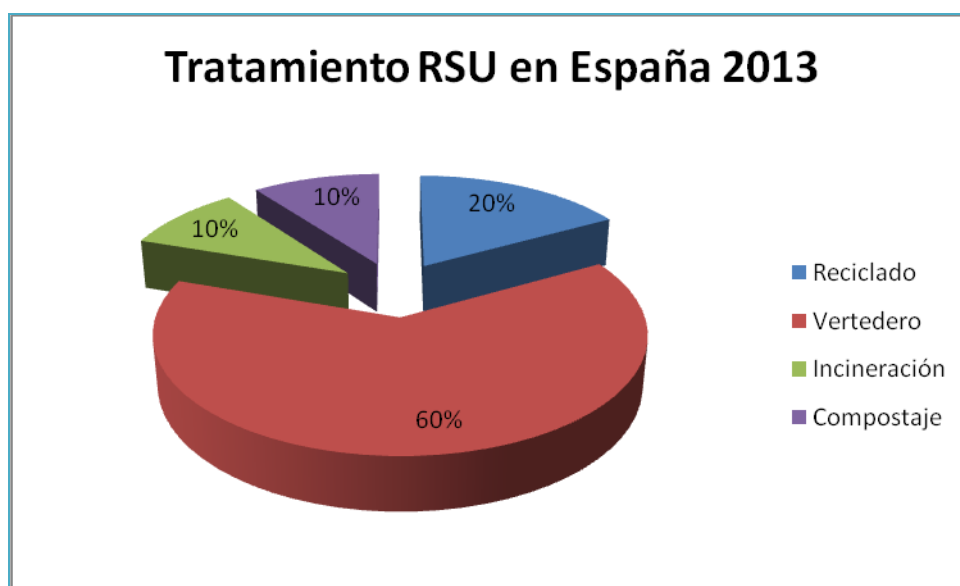


Figura 3.1 Tratamiento de RSU en España en 2013 [EUROSTAT, 2014]

Las experiencias de los países europeos ambientalmente avanzados demuestran que es posible tender al vertido cero. Por lo tanto en España podemos reducir mucho más ese porcentaje de 60% de RSU destinado a vertedero. Efectivamente países como Alemania, Holanda, Suecia, Austria, Dinamarca, Suiza o Bélgica están actualmente alcanzando cotas de vertido prácticamente nulas (Figura 3.3).

Para conseguir el vertido cero, según el modelo de esos países europeos, el proceso más adecuado para solucionar el problema de los residuos pasa por la conjunción de políticas de reciclaje de materiales unida a la incineración con recuperación de energía de los residuos.

Es decir, no todos los residuos pueden ser reciclados, no todos los residuos deben ser incinerados, pero los residuos sólidos generados deberían servir para recuperar materiales y energía, por ese orden.

Pese a lo que se ha venido indicando desde algunos sectores, la experiencia de esos países demuestra que reciclaje e incineración no son técnicas contrapuestas, son claramente complementarias. Por lo tanto, podemos afirmar que la incineración es una solución no un problema.

Según lo expuesto hasta ahora, podemos entender que los RSU son potenciales materias primas mal ubicadas. Es decir, que si bien podría ser cierto que cuando son generados no tienen ningún valor económico, una vez que sean adecuadamente gestionados y, si es preciso, transportados hasta los lugares adecuados para su tratamiento, empezaran a poder ser considerados como "valiosas" materias primas.

La tendencia a nivel mundial es a incrementar la incineración de residuos, así lo demuestra la reciente publicación titulada Study Waste to Energy 2010-2011 y elaborada por Ecopro, consultora especializada en estudios sobre tecnología de la energía y del medio ambiente.

En pleno siglo XXI, existen suficientes datos técnicos y científicos, avalados por varias agencias europeas, que demuestran que la incineración es una tecnología de tratamiento de residuos respetuosa con el medio ambiente y de la que no hay que preocuparse como fuente de contaminantes.

Sin una apuesta clara por la incineración con recuperación de energía para el tratamiento de los residuos, aquellos que no pueden reciclarse es imposible solucionar el problema del tratamiento de los RSU en España.

3.2. Tratamiento de residuos en Europa

Según se recoge en el último balance presentado por Eurostat, cada ciudadano europeo genera 492 kilogramos de residuos al año en 2013. La comparación entre países revela que Suiza es el país con la mayor cantidad de residuos urbanos generados por habitante (694 kg), seguido de Dinamarca (668 kg), Chipre (663 kg) y Luxemburgo (662 kg) (Tabla 3.1). Sin embargo, los países mencionados tratan todos los residuos que generan, mientras que en la UE-28, como conjunto, 11 kilogramos de residuos per cápita permanecen sin tratamiento [EUROSTAT., 2014].

| País | RSU generados kg per cápita 2013 | RSU tratados kg per cápita 2013 |
|------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| EU-28 | 492 | 481 |
| Austria | 552 | 528 |
| Belgica | 456 | 458 |
| Bulgaria | 460 | 433 |
| Suiza | 694 | 694 |
| Chipre | 663 | 663 |
| Republica Checa | 308 | 308 |
| Alemania | 611 | 610 |
| Dinamarca | 668 | 668 |
| Estonia | 279 | 220 |
| Grecia | 503 | 493 |
| España | 464 | 464 |
| Finlandia | 506 | 506 |
| Francia | 534 | 534 |
| Croacia | 391 | 381 |
| Hungía | 402 | 402 |
| Irlanda | 570 | 570 |
| Italia | 529 | 523 |
| Lituania | 469 | 458 |
| Luxemburgo | 662 | 662 |
| Letonia | 301 | 301 |
| Malta | 589 | 559 |
| Holanda | 551 | 551 |
| Portugal | 453 | 453 |
| Suecia | 462 | 462 |
| Eslovenia | 362 | 301 |
| Eslovaquia | 324 | 313 |
| Reino Unido | 472 | 465 |
| Polonia | 314 | 249 |
| Rumania | 389 | 313 |

Tabla 3.1 Generación y tratamiento de RSU en Europa en kg per cápita en 2013 [EUROSTAT, 2014]

La Figura 3.2 muestra la generación y el tratamiento de los RSU en los diferentes estados de Europa durante el año 2013. En ella se aprecia que la mayoría de los países europeos gestiona el tratamiento de la totalidad de los residuos que generan.

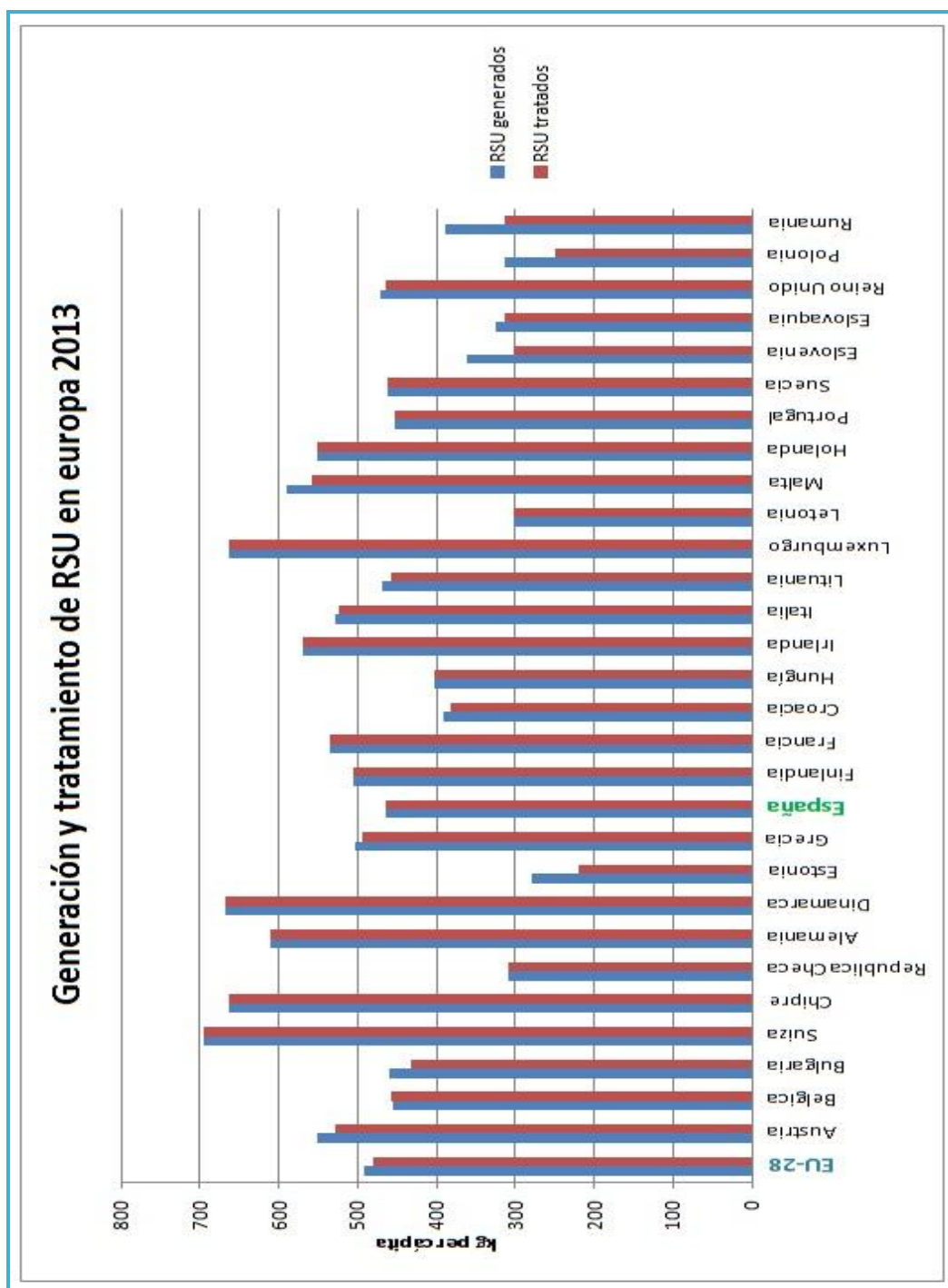


Figura 3.2 Generación y tratamiento de RSU en Europa en kg per cápita en 2013 [EUROSTAT, 2014]

Según se desprende de la Directiva Europea de Residuos 2008/98/CE y de la normativa de Energías renovables 2009/28/CE y de acuerdo con la Jerarquía de residuos, la valorización energética debe seguir siendo una opción complementaria al sistema de gestión de residuos, cuyo valor es el de extraer el potencial energético de los residuos no reciclables, el de diversificar las fuentes de energía de la UE y el de mitigar el cambio climático ya que consigue en parte reducir la dependencia energética de fuentes fósiles.

A comienzos de la década del 2000, la Directiva de 26 de abril 1999 (1999/31 / CE), ha puesto en marcha la construcción de plantas de valorización energética de los residuos. Este texto tenía por objetivo reducir los residuos municipales biodegradables en vertederos: a 75% a 16 de julio 2006, a 50% a 16 de julio 2009 y a 35% a 16 de julio de 2016.

Algunos países, como Alemania, los Países Bajos, Bélgica, Suecia, Austria y Dinamarca decidieron ir más allá estableciendo una prohibición total de residuos municipal en vertederos. En estos países, hoy en día, el vertido de residuos es marginal, entre el 1 y el 3% (Tabla 3.2), lo que les permitió desarrollar juntos su proceso de reciclaje y valorización energética de los residuos [EUROSTAT., 2014].

Otros países, la mayor parte del sur de Europa (España, Italia, Portugal y Grecia) pero también el Reino Unido, fueron menos celoso y aún mantienen tasas de vertido de residuos municipales relativamente alta, del orden de 50 a 60% (Tabla 3.2 y Figura 3.3).

Finalmente, se han incorporado más tarde países europeos del este en 2004 (UE-25) y en 2007 (UE-27) cuyos procesos de valorización energética de los residuos permanecen menos desarrollados. Estos tienen una tasa de vertido que alcanza el 90%, entre 65 y 99% (Tabla 3.2 y Figura 3.3). Sus necesidades de financiación son muy importantes y, con la ayuda de la Unión Europea, estos Estados deberán realizar esfuerzos significativos para cumplir sus obligaciones.

| País | Vertedero | Incineración | Reciclado | Compostaje |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| EU-28 | 34,09 | 23,95 | 27,25 | 14,71 |
| Austria | 3,37 | 34,61 | 28,09 | 33,93 |
| Belgica | 1,16 | 41,86 | 36,11 | 20,86 |
| Bulgaria | 73,42 | 0 | 23,67 | 2,91 |
| Suiza | 0 | 49,98 | 34,76 | 15,26 |
| Chipre | 78,85 | 0 | 12,24 | 8,92 |
| Republica Checa | 56,54 | 20,23 | 20,57 | 2,63 |
| Alemania | 0,42 | 34,97 | 46,61 | 18 |
| Dinamarca | 2,52 | 52,28 | 32,16 | 13,04 |
| Estonia | 44,03 | 15,7 | 33,79 | 6,48 |
| Grecia | 82,49 | 0 | 15,9 | 1,63 |
| España | 63,31 | 9,57 | 16,94 | 10,18 |
| Finlandia | 32,91 | 33,78 | 21,51 | 11,8 |
| Francia | 28,44 | 32,82 | 22,63 | 16,11 |
| Croacia | 84,82 | 0,12 | 13,52 | 1,6 |
| Hungía | 65,4 | 9,13 | 20,86 | 4,59 |
| Irlanda | 39,27 | 16,25 | 36,52 | 7,95 |
| Italia | 41,12 | 20,14 | 24,32 | 14,41 |
| Lituania | 78,95 | 0,58 | 18,64 | 1,83 |
| Luxemburgo | 17,66 | 35,9 | 28,49 | 18,52 |
| Letonia | 84,18 | 0 | 13,7 | 2,12 |
| Malta | 86,75 | 0,43 | 8,55 | 4,27 |
| Holanda | 1,52 | 48,98 | 23,91 | 25,6 |
| Portugal | 54,41 | 19,51 | 11,52 | 14,56 |
| Suecia | 0,75 | 51,63 | 32,33 | 15,3 |
| Eslovenia | 50,89 | 1,62 | 42,16 | 5,33 |
| Eslovaquia | 76,65 | 9,93 | 6,15 | 7,27 |
| Reino Unido | 36,94 | 16,81 | 28,42 | 17,83 |
| Polonia | 74,71 | 0,53 | 12,98 | 11,77 |
| Rumania | 98,66 | 0 | 1,28 | 0,06 |

Tabla 3.2 Tratamiento de RSU en Europa en % en 2013 [EUROSTAT, 2014]

La Figura 3.3 representa la proporción de los diferentes tipos de tratamiento de los RSU que practican los países de la UE. Se puede observar claramente que existen regiones donde predomina el vertido, como Rumanía, Polonia, Eslovaquia, Letonia, Malta, Lituania, Croacia, Grecia y Chipre. Algunos de estos países corresponden a últimas incorporaciones a Europa y otros no disponen aún de suficiente financiación para realizar otros tipos de tratamiento que precisan fuertes inversiones.

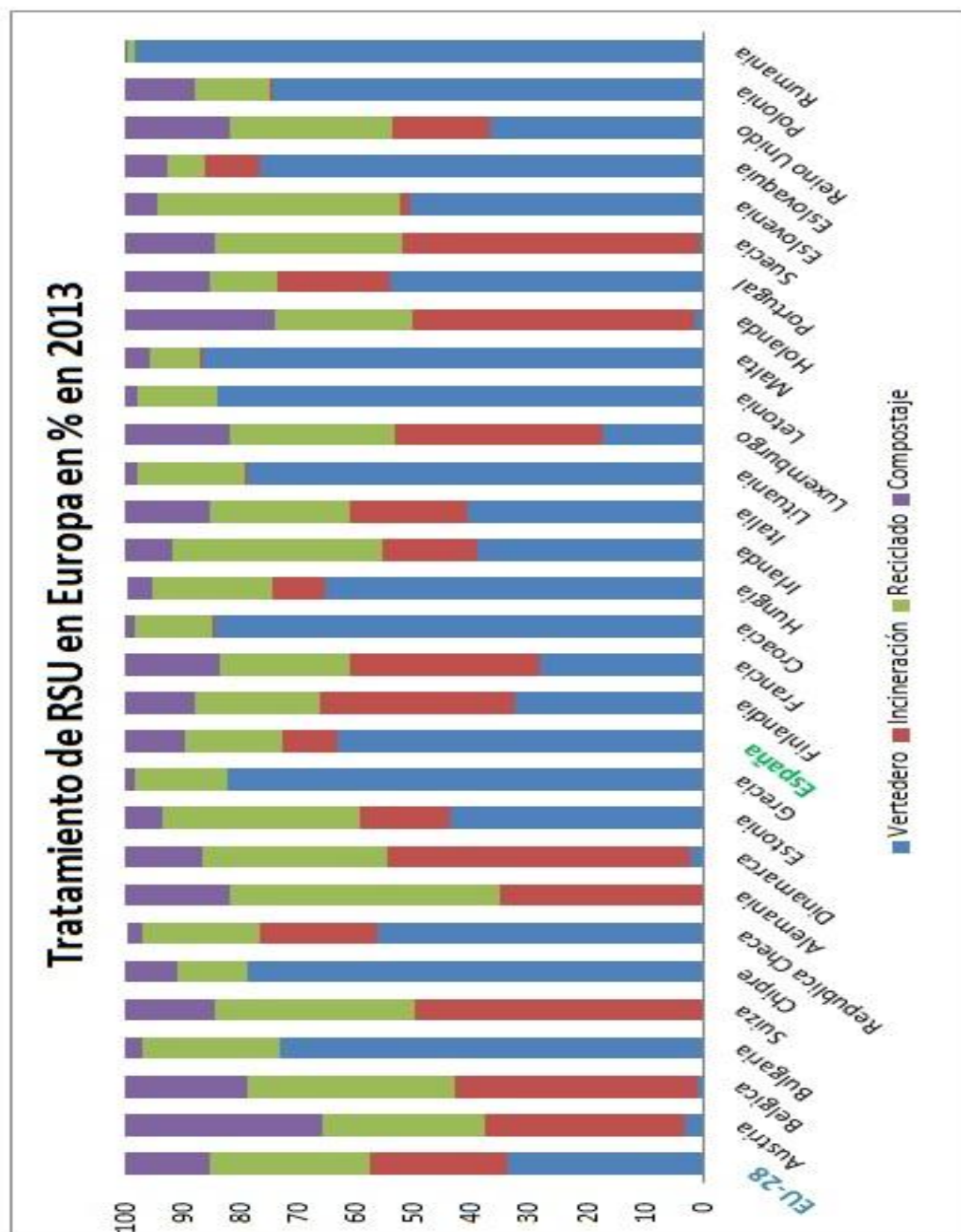


Figura 3.3 Tratamiento de RSU en Europa en % en 2013 [EUROSTAT, 2014]

La Tabla 3.3 muestra la cantidad de residuos municipales tratada en la Unión Europea durante el período entre 1996 y 2013 por el método de tratamiento, en %. En ella se puede apreciar que la tasa de depósito en vertederos en la UE se redujo de 66,63 % en 1996 al 34,09 % en 2013.

| Año | Incineración | Vertedero | Reciclado | Compostaje |
|------|--------------|-----------|-----------|------------|
| 1996 | 14,99 | 66,63 | 11,71 | 6,67 |
| 1997 | 15,05 | 64,53 | 12,9 | 7,51 |
| 1998 | 15,34 | 62,98 | 13,98 | 7,7 |
| 1999 | 15,56 | 61,35 | 15,21 | 7,89 |
| 2000 | 15,47 | 59,43 | 16,94 | 8,17 |
| 2001 | 15,98 | 57,66 | 16,6 | 9,77 |
| 2002 | 16,48 | 55,84 | 17,62 | 10,07 |
| 2003 | 16,89 | 53,53 | 18,98 | 10,6 |
| 2004 | 17,3 | 51,96 | 19,83 | 10,91 |
| 2005 | 18,54 | 49,14 | 20,42 | 11,9 |
| 2006 | 20,19 | 45,74 | 21,69 | 12,39 |
| 2007 | 20,98 | 44,34 | 22,03 | 12,64 |
| 2008 | 20,84 | 42,54 | 23,78 | 12,83 |
| 2009 | 21,98 | 39,86 | 24,03 | 14,12 |
| 2010 | 22,43 | 38,78 | 24,68 | 14,11 |
| 2011 | 23,05 | 37,78 | 25,38 | 13,79 |
| 2012 | 24,5 | 35,15 | 26,45 | 13,89 |
| 2013 | 23,95 | 34,09 | 27,25 | 14,71 |

Tabla 3.3 Tratamiento de RSU en Europa en % (1996-2013) [EUROSTAT, 2014]

Esta reducción puede atribuirse en parte a la aplicación de la legislación europea, la Directiva 62/1994 de envases y residuos de envases. En el año 2001, los Estados miembros tenían que recuperar un mínimo de 50 % de todos los envases puestos en el mercado. Con el objetivo revisado al 60 % de recuperación antes del 31 de diciembre de 2008, se produjo un nuevo aumento en la cantidad de residuos de envases recogidos selectivamente.

Por otra parte, la Directiva 31/1999 sobre el vertido estipulaba que los Estados miembros estaban obligados a reducir la cantidad de residuos urbanos biodegradables destinados a vertederos. Según se aprecia en la Tabla 3.3, hasta 2009 esta Directiva se ha cumplido (39,86 % de vertido).

La reducción se calculó en base a la cantidad total de residuos municipales biodegradables generados en 1996. La Directiva ha llevado a los países adoptar

diferentes estrategias para detener el envío de la fracción orgánica de los residuos municipales a los vertederos, a saber, el compostaje, la incineración y el reciclado.

Como resultado, la proporción de residuos municipales reciclados general aumentó del 11,71% al 27,25% (Tabla 3.3). La recuperación de materia orgánica por compostaje ha crecido del 6,67% al 14,71%. El reciclaje y el compostaje en conjunto representaron el 42% de la materia orgánica en 2013, y han superado la cuota enviados al vertedero desde 2009.

La incineración de residuos también ha crecido de manera constante en el período de referencia, aunque no tanto como el reciclaje y el compostaje. Desde 1996, la cantidad de residuos municipales incinerados en la UE-27 ha aumentado del 14,99% al 23,99% respecto a la cantidad total tratada en 2013 (Tabla 3.3).

En la Figura 3.4 se aprecia claramente, como se va estrechando la banda en rojo (Vertedero) en el tiempo, lo que demuestra la reducción de vertido en Europa desde 1996 hasta 2013.

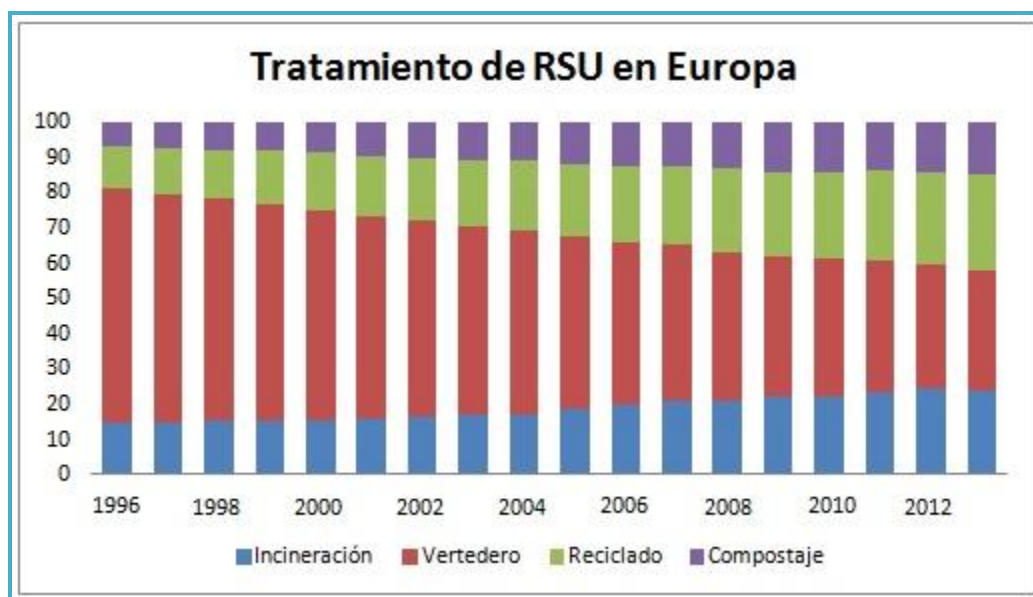


Figura 3.4 Tratamiento de RSU en Europa en % (1996-2013) [EUROSTAT, 2014]

3.3. Valorización energética de los RSU en España

No hay duda que en el marco regulatorio europeo de la gestión de RSU, la valorización energética de los residuos, deberá tomar un papel cada vez más importante dentro de las planificaciones de gestión de los residuos si se quiere alcanzar los objetivos establecidos.

Sin embargo, en España, el aprovechamiento energético de los residuos es aún una práctica mucho menos implantada que en el resto de Europa. Sólo un 10% de los RU se valorizan energéticamente (Figura 3.1). Por tanto, tenemos por delante un amplio margen de desarrollo. Dicho de otra manera, existe un importante potencial de la valorización energética de los residuos en nuestro país. En el caso de aprovechar dicho potencial, no solamente podría contribuir significativamente a una más apropiada gestión de los residuos, sino que también podrían tener una aportación relevante dentro del mix energético español siendo esta una mejora, dado el alto grado de dependencia energética externa.

A día de hoy, la generación de electricidad a partir de RSU en España se lleva a cabo en 10 instalaciones (Figura 3.5).

Atendiendo a la jerarquía de gestión de los residuos de la Directiva 2008/98/CE, la basura que se valorizará energéticamente corresponderá, principalmente, a los rechazos de los diferentes tipos de tratamientos que recibe cada fracción. Este tratamiento de residuos se realizará tanto en las instalaciones existentes como en las previstas. Para ello, se respetarán los modelos de gestión planificados en cada región y prevaleciendo la recuperación y el reciclaje de materiales antes que la valorización energética o la eliminación en vertederos, según la Directiva.



Figura 3.5 Energía procedente de los RSU en España en 2014 en GWh [AEVERSU, 2015]

También se identifica como flujos valorizables energéticamente la fracción RESTO¹³, los RSU en masa o, en algunos casos, la materia orgánica, que no hayan podido ser tratados, por distintas circunstancias de cada territorio (capacidad de las instalaciones insuficiente, la consecución parcial de los objetivos de reciclaje planteados en los planes de gestión, etc.).

¹³ Según el PNIR: es aquella cuya composición es variable y dependiente de cómo y qué se haya separado previamente vidrio, papel/cartón, envases ligeros, fracción orgánica.



Figura 3.6 Cantidad de RSU incinerada en España en 2014 en Tn [AEVERSU, 2015]

Dada la situación actual, se plantean dos hipótesis o escenarios posibles sobre la valorización energética de los residuos urbanos en España:

- **Escenario máximo:** evalúa toda la cantidad de rechazos que tenemos una vez descontados la recuperación de materiales. Este escenario se basa en una situación teórica en la que se elegiría la valorización energética de todos los rechazos como el siguiente destino, evitando así totalmente su eliminación en vertederos. Con esta situación, obtenemos el Potencial Disponible [IDAE., 2011].
- **Escenario mínimo o previsto:** considera la cantidad que está planificada en cada momento en los planes de gestión de residuos vigentes, de ser enviada a valorización energética, teniendo en cuenta las plantas incineradoras existentes, las que

están en fase de proyecto¹⁴, y las que se han planificado en los diferentes territorios. La capacidad de estas instalaciones en cada momento representa el Potencial Previsto [IDAE., 2011].

3.4. Escenario europeo respecto a la valorización energética de los RSU

Junto con el reciclaje, las plantas incineradoras de RSU ayudan a los estados miembros de la UE a desviar los residuos no reciclables de los vertederos y lo utilizan para generar energía (Figura 3.7). Sin embargo el 34% de los RSU en la Unión Europea aún se depositan en vertederos (Tabla 3.2), aunque los gases de vertedero (metano) contribuyen significativamente al calentamiento global [CEWEP 2015].

La incineración de residuos es un medio higiénico de tratamiento de los mismos (destruye virus y bacterias), e impide que los materiales contaminados o degradados entren en el proceso de reciclaje y luego en nuevos productos. Partes valiosas de las cenizas de fondo, productos de la combustión de los RSU, pueden ser reciclados. El proceso de combustión limpia y separa los metales y compuestos inertes de residuos mezclados, de otra manera no podrían ser reciclados. Debido a las cantidades de materiales recuperados de las cenizas de fondo, las plantas de conversión de residuos en energía, contribuyen aún más a la creación de una sociedad del reciclado y por lo tanto ayudan a mejorar la eficiencia de los recursos en Europa, utilizando los residuos como un recurso valioso, en la medida de lo posible [CEWEP 2015].

La situación de los países de la Unión Europea respecto a la valorización energética de los residuos es muy variada (Figura 3.7), debido a las diferentes opciones de política en cuanto al modo de tratamiento, y también a la posterior integración en Europa de los países miembros. Mientras que algunos de ellos practican la incineración a gran escala y la promueven con sus políticas de gestión y tratamiento de residuos, como es el caso de Alemania, Suecia, Suiza, Holanda, etc., otros países utilizan mayoritariamente los vertederos como destino de los rechazos, como es el caso de

¹⁴ Guipúzcoa (en proyecto), Área Metropolitana de Barcelona, Asturias (nuevo Plan aún no definitivo), Tenerife y Madrid (ampliación de capacidad, escenario del Plan con valorización energética máxima).

Finlandia, Gran Bretaña u otros países como Grecia o Irlanda, que no practican la incineración. En global, el vertido de residuos en depósitos controlados es aún la opción predominante para la gestión de los residuos en Europa [IDAE., 2011].



Figura 3.7 Cantidad de RU incinerada en Europa en 2013 en MTn [CEWEPMAP, 2014]

En el caso de Alemania, cuenta con el sector de “residuos a energía” más eficiente de Europa. Tiene 81 plantas de incineración (Figura 3.7) y un programa del Ministerio Federal de Ambiente que convierte en electricidad 5,255 TWh de los 31,731 TWh que genera (Tabla 3.4).

| País | Energía total (GWh) | Electricidad (GWh) |
|-----------------|---------------------|--------------------|
| Alemania | 31.731,4 | 5.255,0 |
| Italia | 9.623,3 | 2.207,0 |
| Francia | 14.488,4 | 2.158,0 |
| Holanda | 9.945,3 | 2.133,0 |
| Reino unido | 7.950,0 | 1.987,3 |
| Suecia | 8.766,3 | 1.700,0 |
| Dinamarca | 5.612,8 | 858,0 |
| Bélgica | 3.486,0 | 635,0 |
| España | 1.712,8 | 595,0 |
| Finlandia | 2.250,0 | 350,0 |
| Portugal | 1.124,4 | 286,0 |
| Austria | 1.510,5 | 207,0 |
| Hungría | 473,3 | 115,0 |
| República Checa | 964,0 | 84,0 |
| Irlanda | 566,3 | 70,0 |
| Luxemburgo | 197,7 | 36,0 |
| Eslovaquia | 225,6 | 29,0 |
| Lituania | 127,9 | 19,0 |
| Malta | 11,6 | 9,0 |
| Eslovenia | 86,0 | 7,4 |
| Bulgaria | 244,2 | 0,0 |
| UE-28 | 101.097,7 | 18.740,7 |

Tabla 3.4 Producción energética en base a combustión de RU en la UE en 2013 en GWh
[EUROSERVER, 2014]

Con respecto a la producción de energía, el escenario europeo es variado, ya que en la zona norte existen muchas redes de distribución de calefacción, lo que de hecho estimula al sector de la cogeneración y al mismo tiempo la tendencia a favorecer la conversión de residuos en calor (Figura 3.8). En cuanto a la electricidad de origen renovable que procede de la incineración, está creciendo en todos los miembros de Unión Europea [INTL., 2011].

La Comisión Europea admite que la tecnología de combustión utilizada para recuperar energía de los desechos urbanos reduce tanto las emisiones de CO₂ como la dependencia de los hidrocarburos. Al mismo tiempo, reconoce que se pueden lograr enormes ventajas ambientales y económicas si se mejora el manejo de los residuos orgánicos para producir energía, en el marco de la Directiva 2008/98/CE. De acuerdo con la CEWEP¹⁵, las plantas de incineración podrían ser capaces de aumentar la

¹⁵ Confederation of European Waste-to-Energy Plants

provisión de electricidad y calor renovables hasta unos 67 TWh en 2020, sobre la base de los 38 teravatios que generaron en 2006 [INTI., 2011].

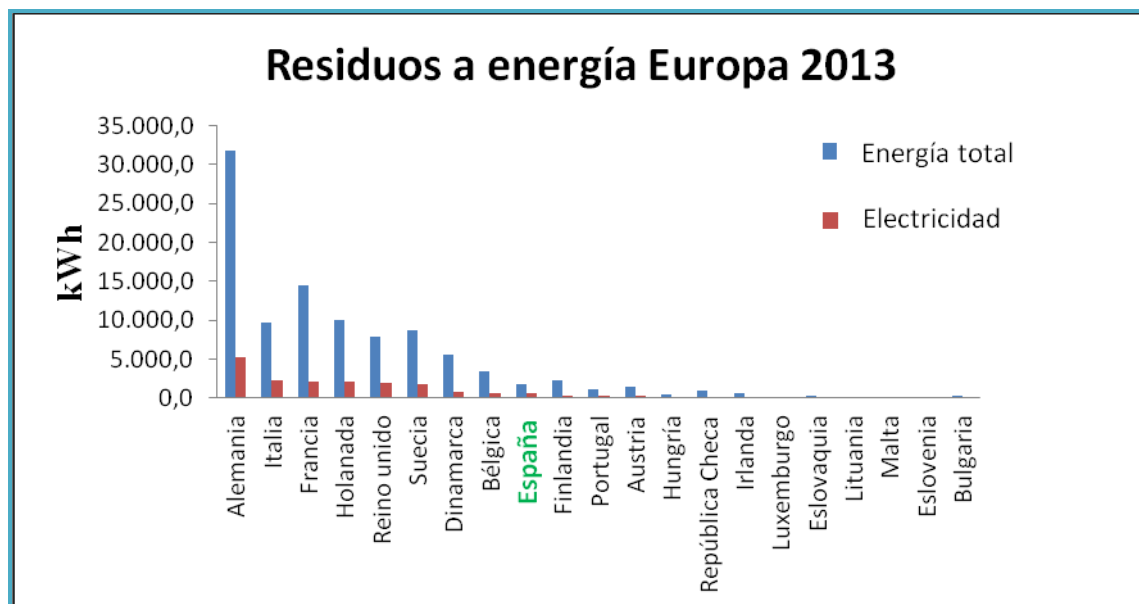


Figura 3.8 Producción energética de RU en la UE en 2013 en GWh [EUROSERVER, 2014]

Se estima que en Europa, la energía recuperada de la incineración de RSU, aumentó ligeramente en 2013 (un 0,7% respecto de 2012), alrededor de 8,7 Mtep¹⁶. Esta evolución demuestra la mayor eficiencia energética de las plantas de incineración estimulada por la legislación Europea, principalmente a través de la transposición de la Directiva marco relativa a los residuos (2008/98 / CE) [EUROSERVER 2014].

3.5. Fracción renovable de los residuos valorizables energéticamente en Europa

Los RSU contienen una proporción importante de material biodegradable¹⁷ que consiste, principalmente, en los residuos orgánicos domésticos, residuos de jardinería, o papel y cartón. Pero también las otras fracciones tienen su parte de origen biológico.

¹⁶ Millones de toneladas equivalentes de petróleo: 1 tep = 11.630 kWh

¹⁷ Según el Real Decreto 1481/2001, Los “Residuos biodegradables” son todos los residuos que, pueden descomponerse de forma aerobia o anaerobia, tales como residuos de alimentos y de jardín, el papel y el cartón.

En relación a este aspecto, la Directiva 2009/28/CE establece dos premisas: la primera, que la biomasa es una fuente de energía renovable, y la segunda que se considera que la fracción biodegradable de los residuos urbanos e industriales es biomasa. Por lo tanto, la energía generada a partir de la combustión de los residuos urbanos constituye una energía parcialmente renovable. En otros términos, las emisiones producidas por la combustión de la fracción biodegradable de los residuos se consideran neutras a efectos de su contribución sobre el cambio climático.

En el caso de los CSR (Combustibles Sólidos de Residuos), cabe mencionar la norma EN 15440:2011, que establece el método para la determinación del contenido biodegradable de este combustible.

Sin embargo, estimar o calcular la fracción renovable en los residuos destinados a valorización energética es complejo debido a la gran heterogeneidad del combustible. Para estimar un valor representativo se requeriría realizar un análisis profundo de los residuos destinados a este tratamiento, lo que supondría realizar un estudio que comprendería un largo período de muestreo y de análisis de los residuos.

Para calcular el porcentaje de energía renovable obtenido de las plantas incineradoras, una posible metodología a emplear consistiría en realizar los siguientes pasos:

1. Identificar la cantidad de residuos incinerados.
2. Identificar los tipos de residuos que componen el flujo incinerado (rechazos, residuos en masa, residuos domésticos, RICIA¹⁸, materia orgánica no compostada, etc.) y su composición en fracciones (orgánica, plásticos, etc.).
3. Definir el contenido energético (kcal/kg) de cada componente y establecer cuánto de éste sería renovable (%).
4. A partir de esa relación entre el contenido de energía renovable y el contenido energético total, se puede calcular el porcentaje de energía renovable obtenida a partir de la incineración de los residuos.

¹⁸ Residuos Industriales, Comerciales e Institucionales Asimilables.

Para poder desarrollar este método de balance hace falta disponer de un registro de datos muy completo y preciso de la caracterización de los residuos que se envían a incineración. Posteriormente, mediante la aplicación de modelos matemáticos se calcularía el resultado más probable de la fracción renovable.

Por otro lado, existe también otro método basado en la datación por radiocarbono que utiliza el isótopo carbono-14 para determinar la edad de materiales que contienen carbono. Mediante esta técnica se podría diferenciar entre el carbono de origen fósil y el de origen biogénico.

Por el momento, estos métodos están siendo comprobados sus resultados en algunas plantas incineradoras de Europa.

Si bien algunos países europeos han desarrollado un protocolo o metodología propia para definir cuál es la fracción renovable de sus residuos domésticos, como Dinamarca, que considera que es el 77,7%, u Holanda, que considera que es el 47%, en la mayoría de casos no se dispone aún de tal información. Para los países que no hayan fijado una cuota, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) recomienda considerar un 50% de fracción renovable de la energía obtenida de la incineración de los residuos [IDEA., 2011].

Capítulo 4

Descripción de la incineradora de RSU objeto de estudio

4.1. Instalación

La instalación de valorización energética de residuos objeto de estudio consta de:

- Una línea completa de incineración con producción de vapor y depuración de gases con una capacidad de tratamiento de 5,5 Tn/h de RSU con un Poder Calorífico Inferior (PCI) de referencia de 1.800 kcal/kg si bien puede tratar residuos entre 1200 kcal/kg hasta 3.000 kcal/kg.

La tecnología que utiliza esta instalación es un horno de parrillas de rodillos y una depuración de gases semiseca (Apartado 1.5).

- Un turboalternador, así como todas las instalaciones auxiliares necesarias para procesar el vapor generado y transformarlo en energía eléctrica que se vierte a la red.

A continuación se realizará una descripción detallada tanto de los materiales como de los procesos que intervienen en la instalación.

4.2. Materiales

4.2.1. Residuos tipos

Los residuos son de distinta tipología. La planta de incineración trata los siguientes tipos de residuos:

- Residuos sólidos urbanos (RSU).
- Residuos industriales, comerciales e institucionales asimilables a urbanos.
- Papel y cartón y embalajes no reciclables.
- Residuos hospitalarios.
- Pequeñas cantidades de residuos industriales específicas como aceites usados, hidrocarburos y residuos contaminados con hidrocarburos.

- Voluminosos tales como:
 - Muebles.
 - Embalajes comerciales e industriales asimilables a los urbanos.
 - Neumáticos.
 - Restos de podas y jardinería.
 - Residuos combustibles de escombros y demolición, etc.
 - Residuos animales y Material de Riesgo Especifico (M.E.R.).
 - Residuos procedentes de la preparación y elaboración de carne y otros alimentos de origen animal.
 - Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración, etc.

Los residuos tratados en la planta de incineración objeto de estudio, codificados según la Lista Europea de Residuos (LER), publicada en la Decisión 2014/955/UE de la Comisión, de 18 de diciembre de 2014, son los que se muestran en las Tablas 4.1, 4.2 y 4.3. Estas tablas se han elaborado con los datos facilitados por la EMPRESA 1 (por motivos de confidencialidad, se llamará “EMPRESA 1” a la empresa que nos ha proporcionado los datos necesarios para la realización de este trabajo)

| LER | Denominación | Sólidos/ Líquidos |
|----------------|--|----------------------|
| 0201 | Residuos de la agricultura, pesca y caza | S |
| 020102 | Residuos de tejidos de animales | |
| 020103 | Residuos de tejidos de vegetales | |
| 0202 | Residuos de la preparación y elaboración de carne, pescado y otros alimentos de origen animal | S |
| 020202 | Residuos de tejidos de animales | |
| 020203 | Materiales inadecuados para el consumo o elaboración | |
| 020299 | Residuos no especificados en otra categoría Residuos origen animal (MER) | |
| 0203 | Residuos de la preparación y elaboración de frutas, hortalizas, cereales, aceites comestibles, cacao, café, té y tabaco; producción de conservas; producción de levadura y extracto de levadura, preparación y fermentación de melazas | S |
| 020304 | Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración | |
| 0301 | Residuos de la transformación de la madera y de la producción de tableros y muebles | S |
| 030308 | Rechazos combustibles de las plantas de reciclaje de residuos urbanos: papel y cartón, plástico y caucho, madera, textiles, mezcla de residuos combustibles | S |
| 040209 | Residuos de materiales compuestos (textiles impregnados, elastómeros, plastómeros) | S |
| 0501 | Residuos del Refino de petróleo | L |
| 050103* | Lodos de fondos de tanques | |
| 050104* | Lodos de alquil ácido | |
| 050105* | Derrames de hidrocarburos | |
| 050106* | Lodos oleosos procedentes de operaciones de mantenimiento de plantas o equipos | |
| 1301 | Residuos de aceites hidráulicos | L |
| 130101* | Aceites hidráulicos que contienen PCB ¹⁹ | |
| 130109* | Aceites hidráulicos minerales clorados | |
| 130110* | Aceites hidráulicos minerales no clorados | |
| 130111* | Aceites hidráulicos sintéticos | |
| 130112* | Aceites hidráulicos fácilmente biodegradables | |
| 130113* | Otros aceites hidráulicos | |
| 1302 | Residuos de aceites de motor, de transmisión mecánica y lubricantes | L |
| 130204* | Aceites minerales clorados de motor, de transmisión mecánica y lubricantes | |
| 130205* | Aceites minerales no clorados de motor, de transmisión mecánica y lubricantes | |
| 130208* | Otros aceites de motor, de transmisión mecánica lubricantes | |

Tabla 4.1 Tratamiento de residuos en la planta (LER). Fuente: Elaboración propia con los datos facilitados por la EMPRESA 1

¹⁹ Policlorobifenilo

| LER | Denominación | Sólidos/ Líquidos |
|----------------|---|----------------------|
| 1304* | Aceites de sentinas | L |
| 1305* | Restos de separador agua/sustancias aceitosas | L |
| 1307* | Residuos de combustibles líquidos | L |
| 1308* | Residuos de aceites no especificados en otra categoría | L |
| 1501 | Envases (incluidos los residuos de envases de la recogida selectiva municipal) | S |
| 150101 | Envases de papel y cartón | |
| 150102 | Envases de plástico | |
| 150103 | Envases de madera | |
| 150105 | Envases compuestos | |
| 150106 | Envases mezclados | |
| 150109 | Envases textiles | |
| 150110* | Envases que contienen restos de sustancias peligrosas o están contaminados por ellas | S |
| 1502 | Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras | |
| 160103 | Neumáticos fuera de uso | |
| 160119 | Plásticos de vehículos fuera de uso | |
| 160199 | Residuos domésticos aduana | L |
| 1607 | Residuos de la limpieza de cisternas de transporte y almacenamiento y de la limpieza de cubas | |
| 160708* | Residuos que contienen hidrocarburos | |
| 170201 | Maderas | S |
| 170202 | Vidrio | |
| 170203 | Plásticos | |
| 1703 | Mezclas bituminosas, alquitrán de hulla y otros y otros productos | S |
| 170503* | Tierra y piedras que contienen sustancias peligrosas | S |
| 170504 | Tierra y piedras distintas de las especificadas en el código 170503 | |
| 170505* | Lodos de drenaje que contienen sustancias peligrosas | |
| 170506 | Lodos de drenaje distintos de los especificados en el código 170506 | S |
| 170903 | Otros residuos de construcción y demolición (incluidos los residuos mezclados) que contienen sustancias peligrosas | |
| 170904 | Residuos mezclados de construcción y demolición distintos de los especificados en el código 170903 | |
| 1801 | Residuos hospitalarios. Residuos de maternidades, del diagnóstico, tratamiento o prevención de enfermedades humanas | S |
| 190805 | Lodos de tratamiento de aguas residuales urbanas desecados | S |

Tabla 4.2., cont. Residuos tratados en la planta (LER). A. Cont. Fuente: Elaboración propia con los datos facilitados por la EMPRESA 1

| LER | Denominación | Sólidos/ Líquidos |
|----------------|---|----------------------|
| 1912 | Residuos del tratamiento mecánico de residuos no especificados en otra categoría | |
| 191201 | Papel y cartón | |
| 191204 | Plástico y caucho | |
| 191206* | Madera que contiene sustancias peligrosas | |
| 191207 | Madera distinta de la especificada en el código 191206 | S |
| 191208 | Textiles | |
| 191210 | Residuos combustibles (combustible derivado de residuos) | |
| 191211* | Otros residuos (incluidas mezclas de materiales) procedentes del tratamiento mecánico de residuos que contienen sustancias peligrosas | |
| 191212 | Otros residuos (incluidas mezclas de materiales) procedentes del tratamiento mecánico de residuos, distintos de los especificados en el código 191211 | |
| 2001 | Fracciones recogidas selectivamente | |
| 200101 | Papel y cartón | |
| 200108 | Residuos biodegradables de cocinas y restaurantes | |
| 200110 | Ropa | S |
| 200111 | Tejidos | |
| 200125 | Aceites y grasas comestibles | |
| 200139 | Plásticos | |
| 200301 | Mezcla de residuos urbanos o asimilables | |
| 200302 | Residuos de mercado | |
| 200303 | Residuos de limpieza viaria | S |
| 200307 | Residuos voluminosos | |
| 200399 | Residuos municipales no especificados en otra categoría | |

Tabla 4.3., cont. Residuos tratados en la planta (LER). A. Cont. Fuente: Elaboración propia con los datos facilitados por la EMPRESA 1

NOTA: los residuos señalados con un asterisco son residuos peligrosos.

La Tabla 4.4 y la Figura 4.1 ilustran la composición de los RSU, elaborada con los datos facilitados por la EMPRESA 1:

| RESIDUOS | % |
|------------------------|-------|
| Materia orgánica | 47,50 |
| Papel-cartón | 23,86 |
| Plásticos | 12,45 |
| Vidrio | 7,80 |
| Materiales férricos | 4,50 |
| Materiales no férricos | 0,68 |
| Madera | 0,96 |
| Aceites | 1,45 |
| Neumáticos | 0,43 |
| Residuos sanitarios | 0,21 |
| Despojo | 0,16 |

Tabla 4.4 Composición de los RSU. Elaboración propia

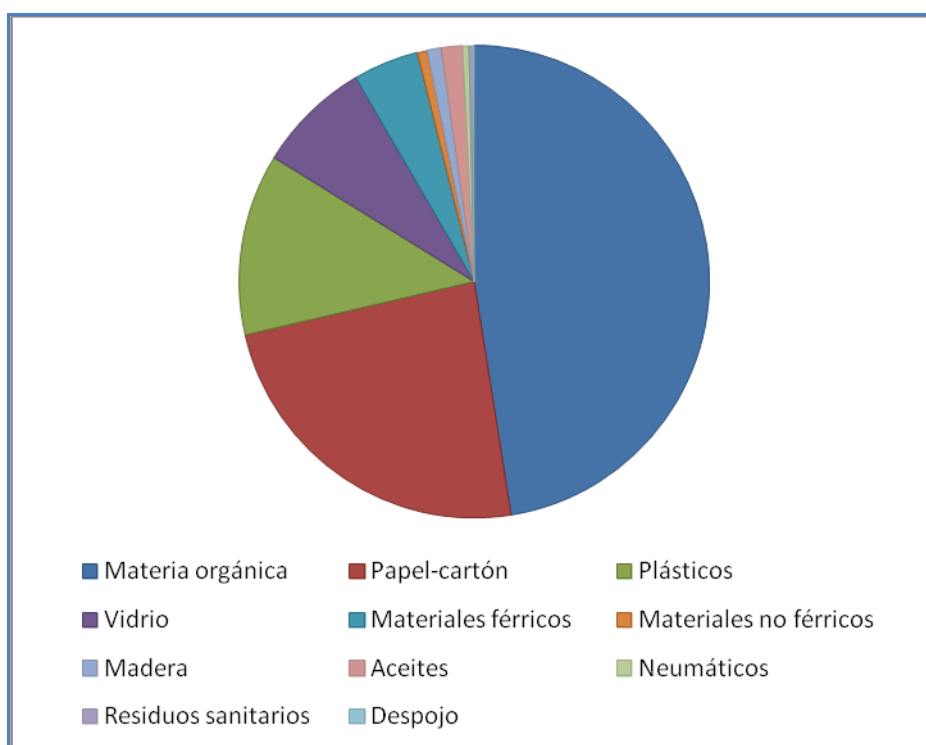


Figura 4.1 Composición de los RSU. Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Materiales auxiliares

Las materias auxiliares empleadas en las instalaciones de tratamiento de residuos son las siguientes:

4.2.2.1. Productos utilizados en la Planta de tratamiento de aguas para su mantenimiento

- Ácido Clorhídrico (solución acuosa al 33% en HCl).
- Sosa Cáustica (solución acuosa al 48-50% en NaOH).

4.2.2.2. Productos utilizados en el acondicionamiento del agua de caldera

- Hidracina (reductor, secuestrante de oxígeno).
- Fosfato trisódico (reactivo precipitante de las sales en el calderín).

4.2.2.3. Aditivos para la ósmosis inversa (operación, limpieza y mantenimiento)

- Reductor de cloro (actualmente Hydrex 4301).
- Desinfectante membranas (actualmente Hydrex 4203).
- Reactivo alcalino limpieza membranas ósmosis (actualmente Auxiclean B-13).
- Reactivo ácido para limpieza de membranas de ósmosis (actualmente Auxiclean A-16).
- Biocida inhibidor del crecimiento bacteriano (actualmente Nalco STABREX ST40).
- Antiincrustante para prevenir la formación de precipitados por
- Sobresaturación de sales en el agua (actualmente NALCO WT 730)
- Inhibidor de la incrustación (actualmente NALCO WT 835).

4.2.2.4. *Materias auxiliares depuración de gases*

- Urea: Reactivo para la reducción de los óxidos de nitrógeno (NO_x), inyectado en la parte superior del horno.
- Oxido de cal (CaO): reactivo para neutralización de contaminantes en la planta incineradora con recuperación energética.
- Carbón activo: adsorbente para compuestos orgánicos y metales pesados volátiles en la planta de valorización energética de residuos.

4.2.2.5. *Reactivos para operación y mantenimiento del circuito de refrigeración*

- Biocida.
- Antiincrustante.

4.3. Procesos

4.3.1. Alimentación de residuos destinados a valorización energética

Los residuos a incinerar se descargan directamente en el foso excepto aquellos voluminosos que requieren trituración, los cuales se descargan en la trituradora de materiales voluminosos adosada a la nave de descarga. Estos residuos se procesan directamente a su llegada y el triturado cae directamente al foso.

La nave está sometida a una ligera depresión producida por la aspiración del ventilador de aire primario al objeto de impedir la salida al exterior del polvo producido por las descargas de los camiones y de los eventuales olores.

El foso de residuos está dotado de un sistema de drenaje con la consiguiente bomba para la extracción de los lixiviados producidos durante el almacenamiento. Dichos lixiviados son inyectados al horno para su destrucción.

Para la valorización energética, los RSU y asimilables se cargan desde el foso al horno de incineración mediante dos puentes grúa (uno de ellos por redundancia) dotados

con cuchara especial para RU. Los aceites usados se alimentan desde el tanque de almacenamiento directamente al horno mediante un quemador auxiliar.

La alimentación de los residuos sanitarios se realiza mediante un elevador automático que los dirige directamente desde la cámara frigorífica a la tolva del horno.

4.3.2. Valorización energética

El proceso de incineración consiste en la combustión de los RSU en exceso de aire obteniéndose como resultado una corriente de gases calientes y otra de sólidos denominados escorias.

Este proceso se realiza en el horno, de tipo parrillas móviles (Figura 4.2), que es el equipo principal de la instalación. El régimen de trabajo es de 24 h al día y 7 días por semana. La capacidad de incineración de la instalación es de 5,5 Tn/h de residuos de un poder calorífico variable medio de 1800 kcal/kg pudiendo tratarse residuos con un PCI entre 1200 y 3000 kcal/kg.

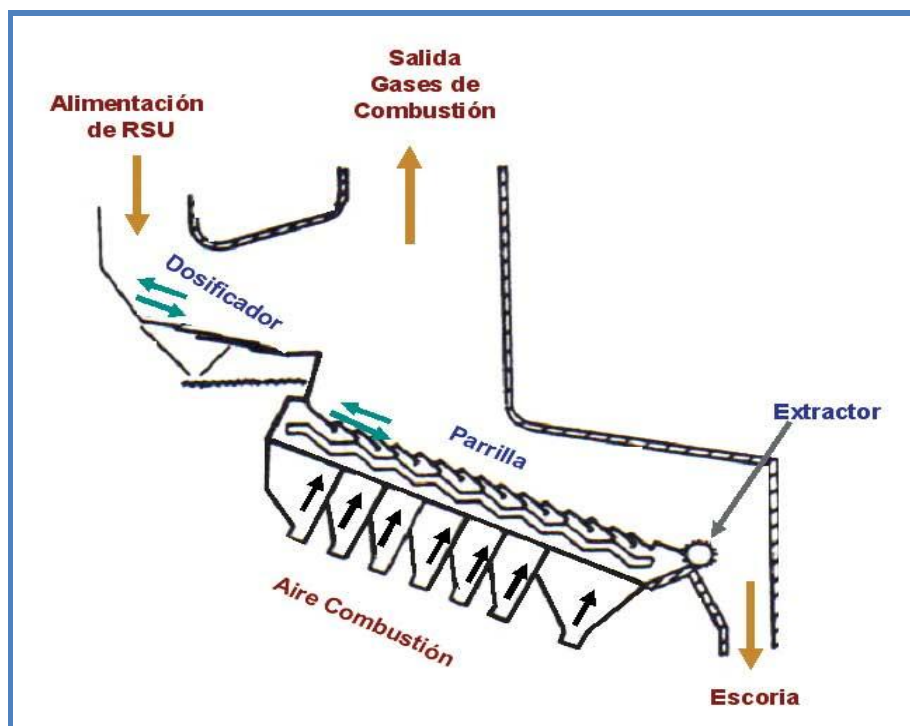


Figura 4. 2 Horno de parrilla. Fuente: EMPRESA 1

El proceso se inicia con la carga de residuos procedentes del foso a través de la tolva de carga la cual dispone en su parte inferior de un alimentador hidráulico de carrera variable para regular el flujo de residuos al horno de incineración.

La combustión en el interior del horno se realiza sobre la parrilla móvil la cual se puede regular en frecuencia en función de las condiciones de los residuos a tratar.

La combustión completa de los residuos se lleva a cabo en 3 etapas:

- Zona de secado (volatilización de materia combustible/ignición).
- Combustión principal.
- Post-combustión.

La temperatura de los gases de combustión debe ser superior a 850 °C durante 2 segundos como mínimo por lo que se mide de forma continua mediante sondas instaladas en distintos puntos del horno.

En caso de que baje la temperatura por debajo de 850 °C se dispone de un quemador de apoyo alimentado con gasóleo que entra en funcionamiento automáticamente con el fin de mantener la cámara de postcombustión a una temperatura superior a 850°C.

El quemador de gasoil se utiliza puntualmente en arranques y paradas y para garantizar una temperatura de humos por encima de 850 °C durante dos segundos en todos los casos.

El calor liberado en el proceso de combustión, en el que la temperatura de los gases es superior a 850 °C, se transfiere hacia la caldera de recuperación a través de las superficies de intercambio de calor de manera que se consigue la transformación del agua de alimentación en vapor sobre calentado a elevada presión y temperatura que se aprovecha para obtener energía eléctrica en un grupo turboalternador.

La energía producida permite abastecer a toda la instalación y el sobrante se envía a la red eléctrica general para suministrar a otras demandas.

El vapor a salida de turbina es condensado mediante el aerocondensador y reintroducido en el ciclo agua-vapor.

El aire necesario para la combustión y postcombustión es aportado y regulado a través de los ventiladores de aire primario, secundario y terciario. El aire primario, necesario para la combustión sobre las parrillas es aspirado del foso de residuos mediante el ventilador de aire primario e introducido a presión a través de las parrillas. Al aspirar aire primario se mantiene la nave del foso en depresión lo que evita la salida de polvo y potenciales olores al exterior de la planta.

El aire secundario o de recirculación, aspirado del ambiente, es inyectado en la parte superior del hogar del horno para favorecer la homogeneización y la completa combustión de los gases.

El aire terciario, aspirado del ambiente, se utiliza para refrigerar las paredes interiores del hogar del horno. Esta refrigeración junto con una cuidadosa selección de las calidades de los materiales refractarios se resuelve la problemática de las altas temperaturas que se alcanzan, de la capacidad abrasiva de los residuos y de las propiedades adhesivas de las cenizas fundidas. Por lo tanto, el aire terciario es particularmente importante al objeto de conseguir largos periodos de operación y bajos costes de mantenimiento.

4.3.3. Depuración de gases

Para cumplir con los márgenes de los límites impuestos por la Directiva 2010/75/UE, los gases enfriados procedentes de la caldera pasan al sistema de depuración que consiste en un absorbedor de tipo semiseco, adsorción sobre carbón activo y filtro de mangas (Figura 4.3).

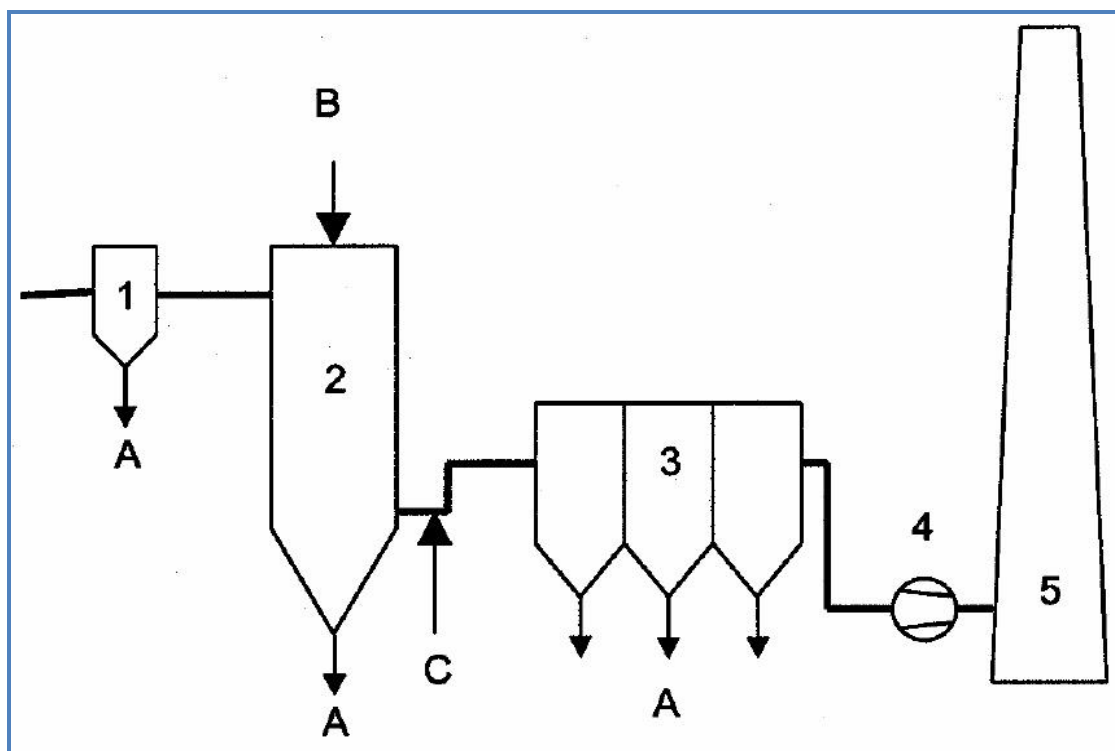


Figura 4. 3 Depuración de gases. Fuente: EMPRESA 1

El sistema consiste en un reactor de absorción 2, una inyección de carbón activo C y un filtro de mangas 3.

En el reactor de absorción se reduce el nivel de HCl, HF y SO₂ de los gases hasta los valores requeridos; para ello se inyecta el absorbente B (lechada de cal: Ca(OH)₂), pulverizándolo hasta que se seque completamente; por la parte inferior del reactor se obtienen cenizas volantes completamente secas, y los gases se extraen por la parte superior de la tolva.

Las dioxinas se destruyen, en su gran mayoría, por las condiciones de combustión y la permanencia a más de 850 °C durante más de 2 segundos y con más del 6% O₂.

No obstante, la inyección de carbón activo C tiene por objetivo capturar las dioxinas residuales; esta inyección se realiza en el conducto ante filtro de mangas.

Los gases llegan luego al filtro de mangas 3, donde se separan las partículas sólidas, que se recogen como ceniza volante A; en la superficie de los elementos filtrantes se forman unas tortas de ceniza, cal y carbón activo que mejoran la efectividad de la reacción y aumentan el rendimiento de depuración del reactor de absorción.

Los gases son impulsados por el ventilador de tiro 4 hacia la chimenea 5.

Por otra parte la instalación dispone también de un sistema adicional de eliminación de óxidos de nitrógeno (DeNOx) (apartado 1.5).

4.3.3.1. Absorbedor semiseco e inyección de carbón activo

Para la primera etapa de depuración se ha adoptado un sistema de depuración de humos de tipo semiseco cuya misión principal es reducir la temperatura de los gases hasta la óptima de reacción de neutralización de los compuestos ácidos (principalmente ácido clorhídrico) y condensación de los metales pesados mediante la inyección de

lechada de cal en el flujo de gases.

Como agente de reacción y neutralización en el absorbedor por atomización, se emplea una suspensión de hidróxido de calcio o lechada de cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

La suspensión de hidróxido de calcio se prepara in-situ a partir de óxido cálcico (CaO). Para ello la cal se extrae de un silo de almacenamiento y se dosifica junto con la cantidad adecuada de agua a un depósito de apagado. A continuación se mezcla esta suspensión de hidróxido cálcico con agua en un segundo tanque, el tanque de lechada, obteniéndose una suspensión más diluida denominada lechada, que es la que se inyecta en el absorbedor para la neutralización de los gases de incineración ácidos. El silo de cal está equipado con un filtro para evitar las emisiones de polvo.

La recogida de productos de reacción del absorbedor (en forma de un sólido pulverulento), así como de la cal restante y las cenizas se realiza en la parte baja del reactor. La mayor parte es arrastrada hacia el conducto para la inyección de carbón activo, adsorbente para compuestos orgánicos y metales pesados volátiles. Posteriormente se realiza la filtración en el filtro de mangas donde tiene lugar el último paso de la depuración.

4.3.3.2. Filtro de mangas

Tras pasar el proceso de pulverización-absorción, los gases de combustión se canalizan hacia el filtro de mangas (Figura 4.4).

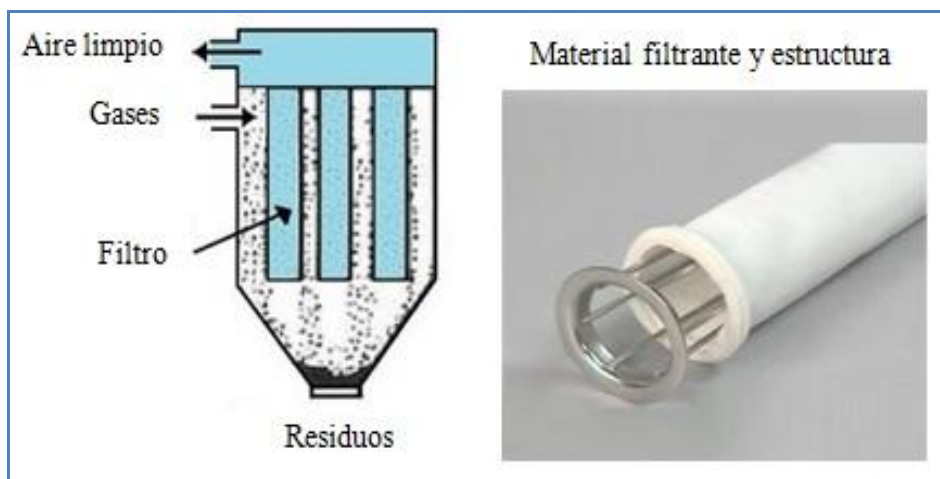


Figura 4.4 Filtro de mangas. Fuente: EMPRESA 1

El filtro consta de tres cámaras, cada una de ellas provista de una tolva que facilita las tareas de limpieza en funcionamiento, permitiendo el cierre de una de ellas, como mínimo, pudiendo el filtro mientras tanto operar en condiciones de diseño (caudal de gases, tiro forzado en chimenea, etc.).

Al entrar en la carcasa del filtro, el gas cargado de polvo se distribuye a las cámaras por medio de un sistema de distribución de gas, ubicado en el interior de la carcasa de filtro. Tras esta operación, los gases pasan, a través de las mangas filtrantes, quedando las cenizas y residuos de contaminación retenidos en los mismos.

La limpieza de las mangas se realiza mediante la inyección a contracorriente de pulsos de aire comprimido. El aire comprimido inyectado pasa, simultáneamente, a través de cada una de las mangas, permitiendo el desprendimiento y sacudida de la torta de polvo depositada en la superficie exterior de la manga. El polvo captado, una vez desprendido de la superficie, se recoge en las tolvas colectoras dispuestas en la parte inferior las cuales también están dotadas de un sistema eléctrico de calentamiento.

4.3.3.3. Chimenea

Los gases impulsados por el ventilador de tiro, son evacuados por la chimenea, diseñada de manera que se garantice la adecuada dispersión de los gases emitidos.

La chimenea posee registros y plataformas adecuados a los ensayos a realizar por las autoridades, así como para acceder a las tomas de los analizadores de gases o a la parte superior donde se instalan balizas nocturnas.

La toma de gases, se efectúa en chimenea en la cota + 15 m (sobre el nivel del suelo), llevándose la muestra a los analizadores/procesadores en la caseta compacta acondicionada para ello e instalada en cota (cota \pm 0,00 de la planta, junto a la chimenea).

El analizador de partículas, se instala en el propio fuste en cota + 17, 00 m sobre el nivel del suelo.

4.3.3.4. Analizador de gases

Las muestras son tomadas in situ, mediante un sistema de muestreo “SEC” (Apartado 4.3.3.4.2) en la chimenea de emisiones atmosféricas de la planta incineradora de RSU.

Estas muestras son continuas, y se toman en pleno funcionamiento de la planta. Un programa informático permite efectuar la adquisición, la edición y la memorización de los datos producidos por los sensores de medida.

El programa adquiere y memoriza las medidas cuarto-horarias²⁰ y de estados de hasta 16 parámetros de cada una de las estaciones a la frecuencia programada.

Los ficheros, de los datos memorizados cada cuarto de hora, son accesibles al usuario para utilización externa.

Se trata de un aparato de medida de gases, trabajando con muestras gaseosas limpias, secas y no explosivas.

²⁰ Cada cuarto de hora.

Utiliza para las mediciones en emisión, preferentemente una sonda de muestreo “SEC”.

Este conjunto puede utilizarse para diferentes aplicaciones en particular:

- Control de la combustión.
- Control de emisiones de instalaciones de combustión.
- Control de emisiones de instalaciones de incineración de residuos domésticos.
- Control de emisiones de instalaciones de incineración de residuos industriales.
- Control de procesos.
- Análisis de gases en las industrias químicas, petróleo, etc.

La mayoría de estos análisis requieren una preparación de las muestras que deberá ser objeto de un estudio pormenorizado en cada caso.

4.3.3.4.1. Principio de funcionamiento

Se trata de un aparato de medida por espectroscopia infrarroja y por correlación. El haz infrarrojo que procede de un emisor integrado en el analizador se modula mediante una rueda de correlación. Luego este haz se envía al interior de una cámara de medida de multirreflexión, para focalizarlo a la salida de la misma, sobre el detector infrarrojo.

La señal generada por el detector se amplifica, digitaliza y se formatea. El valor de la concentración se indica en tiempo real de acuerdo con el tiempo de respuesta previamente programado por el usuario.

El analizador MIR 9000 tipo IP 669 ó similar consiste en una caja de poliéster reforzado con fibra de vidrio, estanca al agua y al polvo (Figura 4.2).



Figura 4.5 MIR 9000: Analizador multigas infrarrojo a correlación [ENVIRONNEMENT, S.A., 2014]

En su frontal se dispone del teclado y el lector, utilizables para dialogar con el analizador.

Un solo analizador sirve para medir simultáneamente las emisiones de NO, NO₂, NO_x, N₂O, CO, CO₂, SO₂, HCl, HF, CH₄, COT y O₂ [ENVIRONNEMENT, S.A., 2014].

4.3.3.4.2. Sistema de muestreo

El desarrollo de las medidas automáticas de control de las emisiones de instalaciones de combustión, de incineración y de otros procesos industriales, acentúa la necesidad de disponer de sistemas de toma de muestras simples y fiables.

El sistema de muestreo “SEC” responde a estos objetivos empleando un método simple de secado del gas por permeación en varias etapas, de forma totalmente automática.

El sistema de muestreo “SEC” (Figura 4.3) sirve para tomar una muestra gaseosa de un conducto o chimenea, y disponer de ella en forma de un gas limpio, seco y a temperatura ambiente.

En estas condiciones, la muestra aspirada puede disponerse en uno o varios analizadores de gases.

Este conjunto utiliza un proceso conocido, pero que representa la puesta en servicio de una tecnología puntera en cuanto a nivel de seguridad en su funcionamiento se refiere.

Para obtener unos resultados lo más perfectos posibles en su funcionamiento, el sistema “SEC” debe instalarse en unas condiciones ambientales apropiadas así como bajo un mantenimiento correcto y efectuado con regularidad; que aunque se haya reducido al mínimo, no lo hace por ello menos necesario.



Figura 4.6 Conjunto muestreador "SEC" [ENVIRONNEMENT, S.A., 2015]

El sistema de muestreo “SEC” se compone de los siguientes elementos:

- Una caja SEC estanca en varias IP669 de 400x400x200 mm. montada sobre un soporte y con asa para su transporte.
- Una sonda de toma de muestra para una longitud de penetración de 400 a 830 mm. y de un diámetro de paso de 65 mm., con su extremo equipado con un filtro en cabeza para su instalación directamente en el conducto donde se quiere muestrear el gas.

4.3.3.5. Emisiones

Como resultado de la valorización energética de residuos se producen emisiones canalizadas a la atmósfera.

Los datos de emisiones máximas anuales a la atmósfera de la instalación, en cumplimiento de la legislación sobre emisiones corresponden a los límites diarios establecidos en la Directiva 2010/75/UE, el caudal es el nominal de la instalación (25.000 Nm³/h) y el funcionamiento anual es de 8.000 h. Todos estos valores se expresan en la Tabla 4.5.

| Contaminante | Promedio diario (mg/Nm ³) | kg/año |
|---|---------------------------------------|--------------------|
| Partículas totales | 10 | 2000 |
| Carbono orgánico total | 10 | 2000 |
| Cloruro de hidrógeno (HCl) | 10 | 2000 |
| Fluoruro de hidrógeno (HF) | 1 | 200 |
| Dióxido de azufre (SO ₂) | 50 | 10000 |
| Óxidos de nitrógeno (NO, NO ₂). Para instalaciones de menos de 6 t/h | 400 | 80000 |
| Cd+Tl | 0.05 | 5 |
| Hg | 0.05 | 5 |
| Sb+ As+ Pb+Cr+Co+Cu+ Mn+Ni+V (total) | 0.5 | 50 |
| Contaminante | Promedio (ng/Nm ³) | kg/año |
| Dioxinas y furanos | 0,1 | 0,00002 |
| Contaminante | Promedio diario (mg/Nm ³) | kg/Nm ³ |
| Monóxido de carbono (CO) | 50 | 5000 |

Tabla 4.5 Emisiones máximas a la atmósfera. Fuente: Elaboración propia

Las emisiones de metales pesados, así como sus compuestos, se producen tanto en estado gaseoso como de vapor.

4.3.4. Tratamiento de residuos de incineración

Las escorias calientes que caen desde la parrilla del horno se recogen en la parte inferior de ésta, en una tolva de evacuación y después en una artesa llena de agua para su enfriamiento.

Las escorias se evacuan mediante un cajón extractor formado por un cilindro con movimiento de vaivén accionado hidráulicamente. El empuje de las escorias está diseñado para permitir, por una parte, un cierto apelmazamiento del producto sin tener riesgos de obstrucción y por otra parte, el escurrido del mismo. De esta manera, la cantidad de agua de enfriamiento gastada se reduce a la cantidad de agua perdida por evaporación y a la cantidad que absorben las escorias, es decir, entre el 15 y el 20%²¹ del peso de las escorias evacuadas.

El consumo²² de agua por tonelada de basura oscila entre 80 y 120 L según la composición porcentual de escorias en los residuos.

A la salida del extractor, la escoria es transportada mediante dos cintas transportadoras hasta la zona de tratamiento, ubicada junto a la entrada de camiones. Allí la fracción metálica se separa de la fracción mineral por medio de un tambor magnético pasando posteriormente por una criba vibrante al objeto de desprender la chatarra adherida.

La chatarra así recuperada se lleva a un Centro de Tratamiento de Vehículos donde se prensa y se almacenan las pacas para su posterior reciclaje en fundición.

²¹ Resultado obtenido en laboratorio anexo a las instalaciones.

²² determinado mediante contador de agua.

La escoria separada de la chatarra es un material inerte y puede dedicarse a rellenos de obra pública [MF., 2012].

Las cenizas volantes y residuos generados en el proceso de depuración de gases son recogidos y almacenados temporalmente en silos cerrados en la propia planta, para seguidamente ser enviados, una vez ensacados a su tratamiento en un centro autorizado de la Península.

El proceso de ensacado de las cenizas consiste en introducirlas en big-bags²³ con el objetivo de obtener una importante reducción de su volumen específico y facilitar su manipulación, transporte y depósito.

La instalación de incineración de RSU que se describe se resume esquemáticamente en la Figura 4.4.

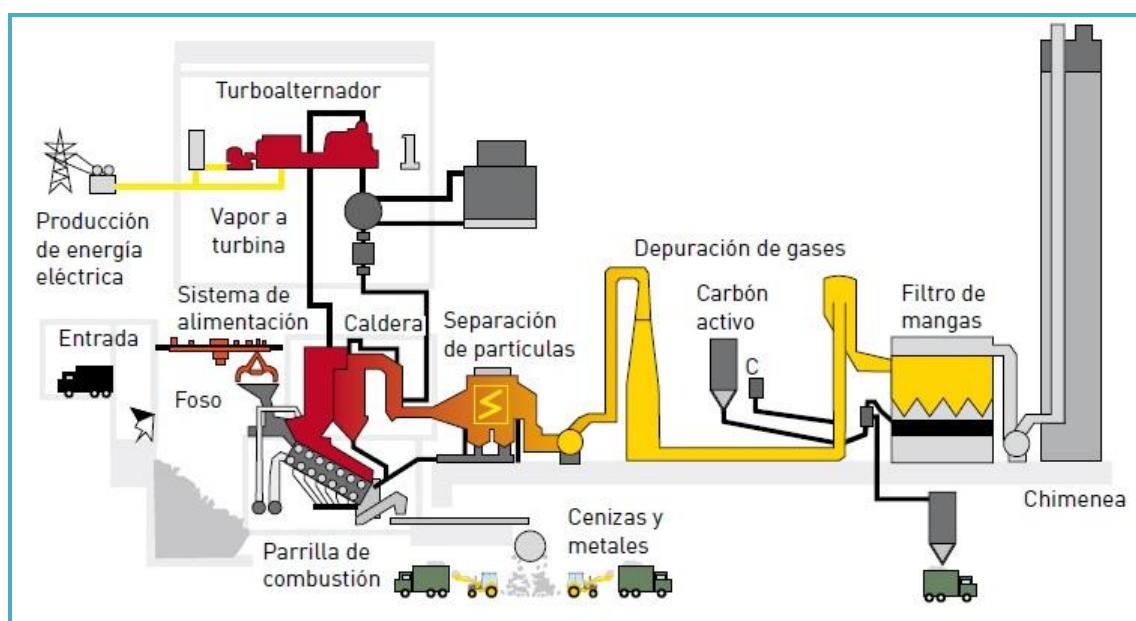


Figura 4.7 Sistema de incineración de RSU en horno de parrillas [IDAE., 20011]

²³ Sacos grandes.

4.3.5. Planta de tratamiento de aguas para caldera

La instalación de valorización energética de residuos dispone de un sistema para tratar el agua de red, eliminar las sales y producir agua desmineralizada de la calidad necesaria para el suministro a la caldera y el ciclo agua-vapor. Dicho ciclo es un sistema de evaporación condensación y sólo se realizan los aportes necesarios para compensar las pérdidas por purgas y venteos en el sistema.

Para ello se dispone de una línea compuesta por un filtro de arena, dosificación de reactivos para ósmosis, filtración, tratamiento de ósmosis inversa, desgasificador e intercambio iónico mediante lecho mixto de resinas.

4.3.5.1. Filtración previa

El agua de red se filtra mediante un filtro de arena para eliminar la turbidez y sólidos en suspensión.

4.3.5.2. Adición de reactivos de acondicionamiento

Sobre el agua filtrada se dosifican los reactivos necesarios para evitar las precipitaciones, eliminar el cloro activo que podría dañar las membranas de ósmosis y regular el pH. La dosificación se hace mediante bombas dosificadoras que impulsan los reactivos desde los correspondientes depósitos.

4.3.5.3. Filtración sobre cartuchos

Antes de la ósmosis inversa, para proteger las bombas de presión y las membranas, se ha colocado un micro filtro de cartuchos de 5 μm y de 1 μm .

4.3.5.4. *Osmosis inversa y desgasificación*

A continuación el agua es bombeada al sistema de ósmosis inversa. Como resultado del proceso de ósmosis inversa se producen dos caudales: uno de agua tratada (exenta de sales en un 97 %) Y otro de agua de rechazo que irá a depósito de aguas usadas para reutilización.

El agua tratada se almacena en un depósito de fibra de vidrio y desde allí se bombea a un equipo de resina de lecho mixto, donde se afina la calidad de agua osmotizada.

El agua osmotizada se dirige a la torre de desgasificación formada por un depósito de fibra de vidrio para la eliminación de CO₂ a partir del equilibrio que se establece entre el aire ambiente y el agua que cae por la parte superior.

4.3.5.5. *Desmineralización con resinas de intercambio iónico*

El agua osmotizada y desgasificada se bombea a las resinas de intercambio para su desmineralización final donde, debido a la acción de intercambio de iones y cationes, los grupos funcionales de las resinas acumulan los cationes y aniones de las sales del agua. El agua ya desmineralizada y apta para la caldera se acumula en el depósito de agua tratada desde donde se alimenta a caldera para reponer las pérdidas del ciclo agua-vapor.

4.3.5.6. *Regeneración de resinas*

La instalación de ósmosis se completa con los equipos necesarios para realizar el lavado periódico de dichas membranas constituido por un depósito de preparación de reactivos, bomba de recirculación en acero inoxidable y válvulas correspondientes.

La instalación de desmineralización se completa con los equipos necesarios para la regeneración del lecho mixto.

Para efectuar la regeneración, se separan hidráulicamente las dos resinas mediante un esponjamiento de agua a contracorriente. La resina aniónica, más ligera, se coloca en la parte superior y la catiónica, más pesada, se deposita en el fondo.

A continuación se mezclan de nuevo las resinas mediante agitación y resuspensión de las mismas con aire comprimido y pasando al aclarado final quedando la instalación nuevamente en servicio.

4.3.5.7. Dosificación de reactivos

Se realiza la adición de aditivos al agua de caldera con la finalidad de prevenir fenómenos de corrosión e incrustaciones en las instalaciones.

El producto utilizado para la eliminación del oxígeno disuelto es una disolución diluida de hidracina activada. La dosificación es continua y el punto de inyección es la impulsión de las bombas de alimentación. La disolución diluida de trabajo se prepara a partir de hidracina activada comercial y agua tratada y se almacena en el tanque de hidracina situado en la planta de tratamiento de aguas. El ajuste de la concentración y dosificación adecuada se realiza a partir de las analíticas del agua de caldera.

La función del fosfato, que también se aditiva al agua de caldera es provocar la precipitación de las sales de calcio y magnesio evitando las posibles incrustaciones y depósitos y mantener el pH en los valores adecuados para que la velocidad de corrosión sea mínima. La dosificación de fosfato se realiza por inyección directa en el calderín en función del pH del agua de caldera. La disolución de trabajo se prepara a partir de agua tratada y de fosfato en forma sólida.

4.3.6. Circuito de agua

El agua necesaria para el funcionamiento de las instalaciones y servicios auxiliares de las instalaciones para el tratamiento integral de residuos procede de la red pública de abastecimiento de agua. La presión disponible en planta para este servicio es de 4 bar.

En el complejo formado por la planta incineradora, el sistema de agua de red consta de los siguientes equipos:

- Tanque de agua de red.
- Depósito compensador.
- Bombas de agua de red.

A partir de la acometida para el suministro de agua a las instalaciones, ubicada en el límite de la parcela, se dispone un tanque de agua de red de 200 m³ útiles.

Desde el depósito de agua de red y mediante un grupo de presión, el agua es impulsada hacia un colector de distribución donde existen seis salidas que alimentan los siguientes equipos y servicios:

- Agua para servicios sanitarios y aseos.
- Planta de tratamiento de agua.
- Depuración de gases (preparación de lechada de cal y humectación de cenizas).
- Enfriadores de muestras.
- Tanque flash para enfriamiento de condensados.
- Canal y Extracción de escorias.

A fin de minimizar el consumo de agua de red, las instalaciones disponen de una red de recogida de aguas usadas y de una red de recogida de aguas pluviales.

Las aguas usadas proceden de los distintos servicios de la planta (purgas del ciclo agua vapor, recogida de condensados, etc.) para los cual se dispone de diversos imbornales y sumideros (plataforma de descarga, zona de caldera, sala de bombas, etc.). Estas aguas usadas recuperadas, se envían por gravedad hacia la balsa de decantación desde donde son bombeados a los distintos servicios que no requieren agua de primera calidad.

4.3.6.1. *Agua para consumo en servicios, sanitarios y aseos*

El agua potable procedente de la red municipal se utiliza en los servicios requeridos por el personal (agua sanitaria, servicios de duchas y aseos) y para la limpieza de las instalaciones. El consumo medio es de $0,2 \text{ m}^3/\text{h}$ de agua para uso sanitario.

El caudal de agua consumido en las diferentes partes de la planta es determinado mediante la instalación de un contador de agua en cada una de ellas.

Las aguas residuales generadas como consecuencia de estas actividades son tratadas en la depuradora municipal a través de su vertido a la red de alcantarillado pública.

4.3.6.2. *Aporte de agua para caldera*

La caldera y el circuito de refrigeración se alimentan con agua desmineralizada procedente de la planta de tratamiento de aguas. Parte del agua de caldera es evacuada a través de la purga continua del calderin y debe reponerse mediante aportación de agua desmineralizada en el desgasificador con un consumo estimado de $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$ de agua osmotizada ($12\text{-}14 \text{ m}^3/\text{día}$).

4.3.6.3. *Depuración de gases de la incineradora*

El sistema de depuración de gases se alimenta con agua de red. El consumo de agua para la de lechada de cal en la planta de valorización energética es de $0,625 \text{ m}^3/\text{h}$ ($350\text{-}450 \text{ m}^3/\text{mes}$).

4.3.6.4. *Aporte de agua al circuito de refrigeración*

El agua de la torre de refrigeración es un circuito cerrado. Las pérdidas por evaporación en la propia torre y pequeñas purgas del circuito son subsanadas mediante el aporte de agua osmotizada de la planta de tratamiento de agua. El consumo estimado de agua osmotizada en este circuito es de $0,125 \text{ m}^3/\text{h}$.

4.3.6.5. *Enfriamiento de muestras*

La misión de este circuito de agua es provocar el enfriamiento del sistema de toma de muestras de agua del ciclo agua-vapor. Se consume únicamente en el momento de tomar las muestras y el caudal máximo de entrada es de 5 l/h .

4.3.6.6. *Agua contraincendios*

En el tanque de agua de red de la planta incineradora se dispone de un volumen de reserva de 60 m^3 para el agua contraincendios. La red contraincendios puede alimentarse también directamente desde la red. En situación normal, las redes contraincendios no tienen consumo de agua.

4.3.6.7. *Red de recogida de aguas usadas y pluviales*

La función de la red de recogida de aguas usadas es la de recoger aguas de varios procesos con objeto de reutilizarlas lo que supone una medida de ahorro muy eficiente.

4.3.6.7.1. Agua de aporte proveniente de la Purga Continua de la Caldera

Se recogen 12 a 14 m³/día en el tanque de aguas usadas y en caso de no reutilizarse se vierte a la red de saneamiento.

4.3.6.7.2. Agua de rechazo de ósmosis

La cantidad de agua de rechazo de ósmosis es de 800 m³/mes. Se recoge en el depósito de rechazo y se reutiliza en el extractor para el enfriamiento de las escorias. El excedente se vierte a la red de saneamiento.

4.3.6.7.3. Agua proveniente de las Purgas de las Torres de Refrigeración

Suponiendo que las purgas son aproximadamente el 30% del aporte y que el 70% restante se evapora como consecuencia del enfriamiento, el volumen de agua recogido procedente de las purgas es de 30 - 35 m³/mes. Este agua se recoge en el tanque de aguas usadas y en caso de no reutilizarse se vierte a la red de saneamiento.

4.3.6.7.5. Red de saneamiento y lixiviados

La red de saneamiento realiza la recogida de las aguas residuales provenientes de los servicios de los edificios de oficinas y servicios las cuales son recogidas desde arquetas de salida y conducidas a la red de alcantarillado. También recoge los excedentes del tanque de aguas usadas y pluviales a fin de evitar el desbordamiento de los mismos por exceso de llenado.

Se dispone de una red de recogida de lixiviados en el foso de recepción de residuos, de manera que éstos se acumulan en una arqueta de lixiviados al efecto desde donde son conducidos al horno de combustión para su destrucción.

No existen vertidos de aguas residuales ni a aguas superficiales, subterráneas ni litorales ya que son destruidas en el horno.

Los excedentes de aguas usadas, los drenajes de lecho mixto y las aguas sanitarias son vertidos directamente a la red de saneamiento para su posterior depuración en la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR).

4.3.7. Caldera de recuperación

Los gases de combustión a la salida del horno se dirigen a la caldera de recuperación de calor, la cual dispone de la sección de radiación y la de convección, formada por el evaporador, los sobrecalentadores y el economizador. Estas secciones están diseñadas de forma que las velocidades de los gases minimicen las erosiones, corrosiones o deposiciones de polvo entre tubos. Las especificaciones del vapor son de 400°C y 40 bar absolutos.

La caldera dispone de mecanismos de limpieza en marcha por percusión de los haces de transferencia de calor.

El diseño de esta caldera responde a los conceptos más avanzados utilizados en la incineración de residuos, que combinan la elección óptima de los parámetros de vapor con la disposición física de las superficies de intercambio.

Por ello se ha diseñado una sección vertical de radiación cuyo objeto es dar lugar a los tiempos de permanencia a altas temperaturas de los gases (superiores a dos segundos y a 850°C) que junto con el exceso de oxígeno necesario (mayor de 6%) materializan las exigencias de la Directiva 2010/75/UE. En la base de esta sección se insufla el aire secundario cuya función es crear una alta turbulencia en los gases logrando una completa combustión. La cámara de radiación enfría los gases hasta las temperaturas adecuadas para entrar en las zonas de convección sin problemas de adherencias de cenizas volantes.

La sección de convección está en posición horizontal lo que tiene ventajas para el mantenimiento por su accesibilidad y permite además el uso del sistema de limpieza por golpeo. Este sistema es especialmente útil para mantener un grado de limpieza de

las superficies de intercambio, tal que permita largos periodos de trabajo sin necesidad de paros para la limpieza de la caldera.

Las condiciones de generación del vapor se han elegido, de acuerdo con las experiencias más recientes entre las que permiten mantener unos niveles mínimos de corrosión y un aceptable rendimiento de conversión de energía en el turbo grupo. Las condiciones del vapor de 40 bar absolutos y 400°C (sobrecalentamiento) permiten conseguir simultáneamente los objetivos de baja corrosión y buen rendimiento.

4.3.8. Energía

4.3.8.1. Producción de energía

La fuente de energía principal en las instalaciones de la incineradora son los propios residuos ya que la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de las mismas se obtiene a partir de su incineración en la planta de valorización energética.

La recuperación de energía se realiza a partir de la transferencia de la energía calorífica de los gases de combustión al agua mediante una caldera de vapor y la posterior generación de la energía eléctrica en el turbogruppo. A partir de los datos del balance energético se calcula la eficiencia de la conversión térmica de la caldera que en este caso es del 82,5 %.

El vapor residual procedente de las extracciones de turbina se utiliza como fuente de calor en otras etapas del proceso, a fin de aumentar el rendimiento del ciclo.

Además del suministro a las propias instalaciones se produce un excedente de energía eléctrica que se distribuye para el consumo de la ciudad y sus habitantes a través de la red energética de la ciudad para lo cual la instalación está interconectada a la red general de suministro de electricidad de la ciudad.

4.3.8.2. Sistema eléctrico

La energía eléctrica producida por el alternador se lleva a las barras de distribución. Desde estas se alimentaran los transformadores para los servicios internos de la planta y la conexión con el exterior.

La tensión de generación de la turbina se adecua al nivel de tensión de la red mediante un transformador.

La secuencia de puesta en funcionamiento de la instalación eléctrica es la siguiente:

- La puesta en marcha de la Planta se hace con energía eléctrica comprada a la compañía.
- Una vez puesta en marcha se venden los excedentes a la red pública.

La distribución de embarrados se ha elaborado de modo que se obtiene la máxima flexibilidad en los casos de reparaciones, fallos de transformadores, fallos de red, etc. La instalación se ha proyectado considerando los siguientes niveles de tensión (facilitados por la EMPRESA 1):

| INSTALACION | VOLTIOS |
|--|---------|
| Línea de interconexión, acometida de la instalación y distribución de media tensión (interior hasta la estación de transformación de la empresa distribuidora de electricidad) | 10.000 |
| Generación turboalternador | 6.000 |
| Distribución interna y motores | 380 |
| Circuito de mando de motores | 220 |
| Sistemas de seguridad y protección, sistemas de control y supervisión | 220 |
| Instrumentación de campo, transmisores y convertidores | 24 |

Tabla 4.6 Diferentes niveles de producción de electricidad. Fuente: Elaboración propia

Se dispone de dos grupos de producción de energía eléctrica adicional que son el grupo electrógeno y el sistema de producción de tensión segura.

El grupo electrógeno se ha previsto como grupo de emergencia, tal que pueda tomar a su cargo los elementos consumidores básicos en caso de fallo en el suministro eléctrico, desde el punto de vista de seguridad de caldera y equipos auxiliares.

El sistema de puesta en marcha y acoplamiento del grupo electrógeno se realiza de forma automática ante un fallo de suministro eléctrico. Cuando se recupera el suministro eléctrico, se para el grupo electrógeno.

También se dispone de un sistema de tensión alterna segura y de tensión continua segura para determinados equipos de la planta. En ausencia de la tensión de la red, dicho sistema suministra energía a los equipos críticos de la instalación. Al retornar la tensión de red, se restablecerán las condiciones originales de funcionamiento sin ninguna interrupción.

4.3.8.3. Importación de energía eléctrica de la red

Cuando no hay producción bruta de energía, se pasa a importar energía eléctrica de la red. Si falla el suministro eléctrico de red automáticamente, en condiciones de cero eléctrico, el grupo electrógeno entra en funcionamiento. La energía importada es la producida por la empresa concesionaria correspondiente al tipo producida por motores de fuel (mix eléctrico de Melilla).

4.3.8.4. Uso de Gasóleo como combustible adicional

La instalación utiliza además gasóleo C como combustible adicional, en aquellas situaciones en que se requiere para garantizar el mantenimiento de los parámetros de combustión (por ejemplo arranques y paradas). El consumo anual medio es de 69.386 l.

4.3.9. Sistema de mando, control e instrumentación

Toda la manipulación y el control del proceso se realizarán desde el puesto de mando a través de un sistema electrónico con representación en pantalla. El esquema general de este sistema es el siguiente:

- Dos monitores en color de 20 pulgadas.
- Teclado industrial y de ingeniería.
- Sistema electrónico de supervisión redundante, capaz de visualizar los grupos de gráficos indicativos e interactivos necesarios, almacenar la información histórica, editar los resúmenes de datos significativos y otros informes de gestión, periódicamente y la posibilidad de actuación desde el teclado de todos los elementos significativos de la planta.
- Autómata programable de control general y autómatas dedicados a cada uno de los equipos cuya complejidad lo requiere.
- Armarios de tarjetas de entrada y salida de datos y accesorios.
- Impresora de informes y gráficos.
- Impresora y monitor de alarmas.

Todo este conjunto está integrado en un pupitre de control auxiliado por un panel sinóptico provisto de indicadores luminosos y digitales para las medidas importantes. Este sinóptico permite en una ojeada captar con rapidez la situación de la planta.

Merece mención especial la “Sala de Mando”, diseñada cuidadosamente para proporcionar un ambiente de trabajo agradable, con excelente visión del foso de residuos y de la báscula de camiones y accesos fáciles a las partes esenciales de los equipos.

El software del sistema permite almacenar los datos de las variables de proceso más importantes de la Planta, pudiéndose elaborar gráficos históricos configurables por el usuario, que permiten el estudio de la evolución del proceso y sus respuestas a los

cambios introducidos por la heterogeneidad del combustible, al objeto de optimizar la explotación.

4.3.10. Reducción de los óxidos de nitrógeno

La tecnología utilizada para la reducción secundaria de los NO_x es la reducción no catalítica selectiva SNCR (apartado 1.5).

El proceso de SNCR ocurre dentro de la unidad de combustión, la cual actúa como la cámara de reacción. La Figura 4.8 muestra un esquema del interior de la caldera con la SNCR. El reactivo (urea) es inyectado en el gas de combustión, a través de boquillas montadas en la pared de la unidad de combustión. Las boquillas de inyección están localizadas generalmente en el área de post-combustión, el área superior del horno y de las zonas de convección.

La inyección causa la mezcla de la urea y el gas de combustión. El calor de la caldera proporciona la energía para la reacción de reducción. Las moléculas de NO_x son reducidas y el gas de combustión que reaccionó sale entonces de la caldera.

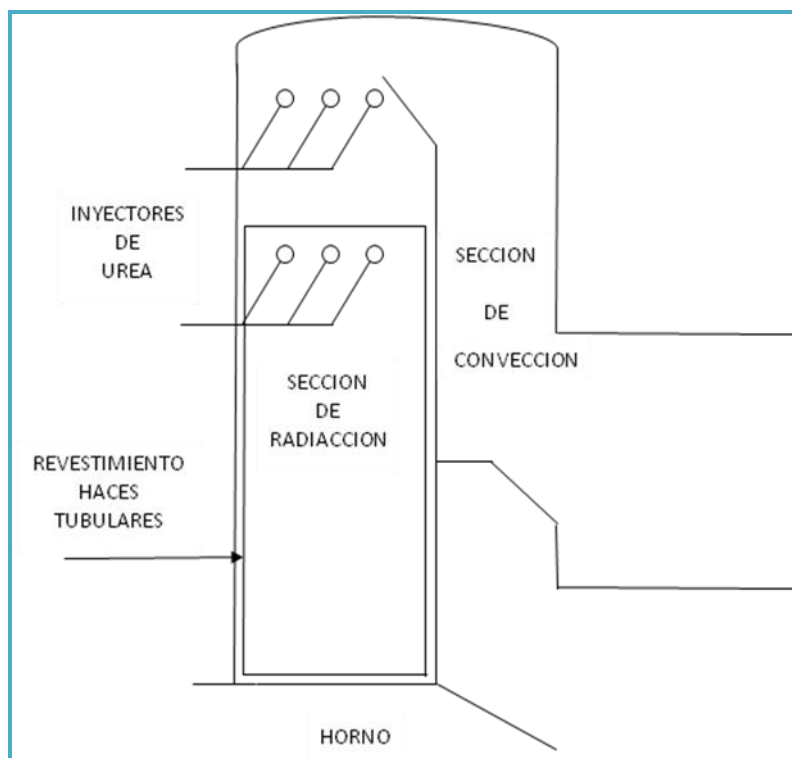


Figura 4.8 Configuración de la ruta del gas en la caldera. Fuente: Elaboración propia

Los gases de combustión a la salida del horno se dirigen a la caldera de recuperación de calor, la cual dispone de la sección de radiación y de convección, formada por el evaporador, los sobrecalentadores y el economizador. Estas secciones están diseñadas de forma que las velocidades de los gases minimicen las erosiones, corrosiones o deposiciones de polvo entre tubos. Las especificaciones del vapor son de 400 °C y 40 bares absolutos.

4.3.10.1. Reactivos

La urea es utilizada en una solución acuosa al 50% (Tabla 4.7). A esta concentración, la solución de urea debe calentarse y circularse en climas fríos debido a su bajo punto de congelamiento, 17.8 °C. Se dispone de soluciones de urea con concentraciones más altas, las cuales reducen el volumen de almacenamiento pero requieren de calentamiento extensivo para prevenir congelamiento. La urea es inyectada en la caldera como una solución acuosa y vaporizada por el calor de la caldera.

| PROPIEDAD | SOLUCIÓN DE UREA |
|--|--|
| Fórmula química | $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ |
| Peso molecular del reactivo | 60,06 |
| Líquido o gas a temperatura normal del aire | Líquido |
| Concentración del reactivo, normalmente proporcionada | 50% en peso |
| Densidad de la solución a 16 °C | 1,14 Kg/l |
| Presión de vapor a 27 °C | < 69 mbar |
| Temperatura de cristalización | -11 °C |
| Limites de inflamabilidad en aire | No-inflamable |
| Olor | Ligero (como amoníaco) |
| Materiales aceptables para almacenamiento | Plástico, acero, o acero inoxidable (no cobre ni aleaciones ni uniones de zinc o aluminio) |

Tabla 4. 7 Propiedades de la urea [EPA., 2000]

4.3.10.2. Sistema SNCR

El sistema SNCR tiene cuatro pasos básicos:

- Recepción y almacenamiento del reactivo;
- Medición, del reactivo;
- Inyección del reactivo diluido a los lugares apropiados en la caldera; y
- Mezclado del reactivo con el gas de combustión.

La Figura 4.9 presenta el diagrama de flujo del sistema utilizado y la Tabla 4.8 enlista los requerimientos de equipos para la SNCR en base a urea (Los datos han sido proporcionados por la EMPRESA 1).

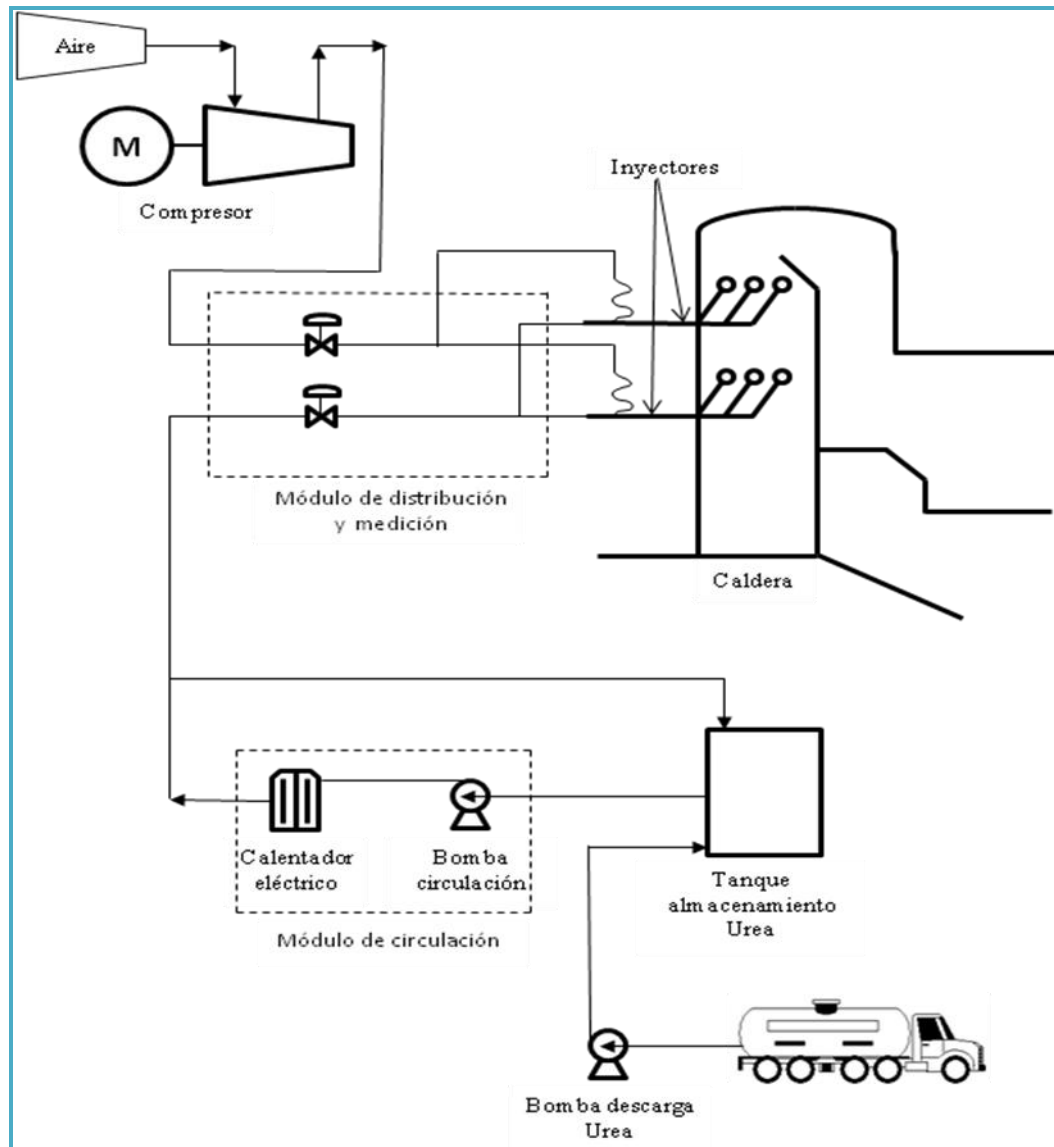


Figura 4.9 Diagrama de flujo del proceso de SNCR con urea. Fuente: Elaboración propia

| EQUIPOS | DESCRIPCION |
|--|--|
| Descarga de Urea | Bombas centrífugas con mangueras para conectarse al carro tanque de camión. |
| Tanques de almacenamiento de Urea | Tanque vertical, de plástico reforzado (resina de Ester de vinilo), aislado con fibra de vidrio, diseño a presión atmosférica y equipado con un desfogue, escalera marina, rampa y tapetes de calentamiento. |
| Módulo de circulación | <ul style="list-style-type: none"> • Bombas de circulación, • Calentadores eléctricos, • Tubería aislada con trazadores de calentamiento, • Válvulas de aislamiento para bombas y calentamientos, • Instrumentación para flujo, presión, temperatura y un panel de control. |
| Compresor de aire (2 unidades) | Tipo rotatorio. |
| Módulo de distribución Y medición (2 módulos) | <ul style="list-style-type: none"> • Conexiones con válvulas para urea y atomización de aire, • Válvula de aislamiento y válvula de control de presión para el suministro de aire/urea a cada inyector, • Indicador de presión para el suministro de aire/urea a cada inyector, • Indicador de flujo para el suministro de urea a cada inyector. |
| Inyectores. 6 por módulo de distribución. | Tipo-pared: Inyector de pared tipo doble-fluido, con paneles de pared de horno y mangueras para suministro de aire y urea, |
| Tubería | La tubería en la que circula la urea deberá ser de acero inoxidable, aislada, con trazadores de calor. |
| Soporte de tubería | Soporte de acero estructural, incluyendo un puente para tubería, para soportar toda la tubería. |
| Monitores de emisiones de salida del economizador | Monitorear NO_x , y O_2 en el gas de combustión y proporcionar una señal de retroalimentación para el control de la inyección de urea. |
| Instrumentación y controles | Instrumentación y controles independientes en base a microprocesadores para el sistema SNCR, con retroalimentación desde los controles de la planta para la unidad de carga, emisiones de NO_x , etc. |
| Envoltura | Envolturas prediseñadas, calentadas y ventiladas para los circuitos de urea. |
| Cimientos | Cimientos y paredes de contención para el tanque y las tarimas de equipo, envolturas y acero de soporte de la tubería, según se requiera. |
| Plataformas/escaleras | Modificaciones y adiciones a plataformas/escaleras para acceso a los inyectores. |
| Remoción de asbesto | Remoción de asbesto y re-aislamiento, para una instalación reconvertida. |

Tabla 4.8 Equipo del sistema SNCR en base a urea. Fuente: Elaboración propia

4.3.10.2.1. Tanques de Almacenamiento

La urea se recibe en fase acuosa vía un camión cisterna y la bombean hacia el tanque de almacenamiento (Figura 4.9). Para el almacenamiento de urea se utiliza un tanque vertical, de fondo plano y tapa cerrada. Este tanque es construido de fibra reforzada de poliéster y tienen un recubrimiento como barrera contra la corrosión en el interior, hecha de resina de Ester de vinilo de primera calidad. El tanque está equipado con indicadores de nivel y de temperatura, una plataforma, desfogue y escalera de acceso y otros accesorios. La aplicabilidad de trazadores de calor, aislante y criterio de diseño antisísmico, son determinados en base a condiciones específicas del sitio. El tanque se ha montado en un piso de concreto y se ha rodeado por una estructura contenedora de derrames, tal como un dique.

4.3.10.2.2. Módulo de Circulación

El módulo de circulación alimenta, a alta presión, el sistema de inyección (Figura 4.9). La solución de urea es filtrada para evitar atascos en los inyectores, y calentada para que la solución no se congele. El módulo también proporciona un control local/remoto y una estación de monitoreo para el tanque de almacenamiento y el sistema de circulación. Este módulo contiene bombas centrífugas de múltiple etapa, de acero inoxidable, filtros dobles en línea, calentadores eléctricos e instrumentación y controles para la presión, flujo, temperatura y cantidad del reactivo.

4.3.10.2.3. Módulo de medición y distribución de reactivo

La solución de urea, es transportada desde el tanque de almacenamiento al módulo de medición y distribución, localizado típicamente adyacente a la caldera (Figura 4.9). Este módulo controla el flujo de solución a cada inyector y consta de medidores de flujo, válvulas neumáticas y reguladores conectados a un sistema de control automático. Este sistema controla y muestra el flujo del reactivo y del aire para su atomización a cada inyector. El módulo también incluye válvulas manuales,

indicadores de presión y tubos de acero inoxidable para controlar adecuadamente el proceso de inyección de urea.

Existen 2 zonas de inyección de urea con 4 inyectores por zona. Estas zonas se localizan en la región entre las secciones de radiación y de convección (Figura 4.8).

4.3.10.2.4. Mezclado del reactivo con el gas de combustión y reducción de NO_x (Inyectores)

Los inyectores ayudan en la dispersión y mezclado del reactivo con el gas de combustión.

Los inyectores que nos ocupan son inyectores de pared, están unidos a la pared interna de la caldera en sitios específicos. Hay una boquilla por cada sitio de inyector.

El reactivo es inyectado bajo presión y atomizado por boquillas especialmente diseñadas para crear gotitas de tamaño y distribución óptimos. El ángulo y velocidad de atomizado de la inyección, controlan la trayectoria del reactivo. El sistema de urea inyecta aire comprimido, como fluido de transporte, junto con la urea, a través de una boquilla atomizadora de doble fluido.

Capítulo 5

ACV un método para la evolución del impacto ambiental

5.1. Introducción

En la vida de cada día, tenemos que tomar decisiones más o menos importantes, que nos afectan. En los últimos años ha adquirido una importancia considerable la necesidad de conducir tales elecciones, a las cuestiones relacionadas con el medio ambiente y los posibles efectos que la actividad humana puede ejercer sobre los diferentes sectores ambientales.

De hecho, muy a menudo, estamos llamados a tomar decisiones, a cerca de, p. ej., las tecnologías a utilizar para la producción de bienes y servicios, las materias primas a explotar, la posible reutilización de los productos, y el modo de disposición final de los residuos; que corresponden, en cualquier caso, a opciones cuyas consecuencias pueden producir más o menos impacto sobre el medio ambiente, y determinar los efectos más o menos graves sobre el nivel de calidad del mismo y, en consecuencia, en la salud humana.

En este contexto, en los últimos años, se ha desarrollado un procedimiento específico, entre otros, a través del cual se puede proceder a la toma de decisiones y lograr, por lo tanto, significativas consideraciones sobre las posibles cargas ambientales asociadas a cada una de las actividades descritas anteriormente; metodología se denomina Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

5.2. Definición

El Análisis de Ciclo de Vida o ACV por sus siglas (en inglés LCA), llamado también Evaluación del Ciclo de Vida es una herramienta que permite evaluar los impactos ambientales de productos o servicios de una forma global porque considera todas las etapas del ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final y todos los vectores involucrados [Benítez Escudero, 2013]. El ACV compila un inventario de entradas y salidas relevantes del sistema y de acuerdo a la normativa UNE-EN-ISO 14040:2006 el proceso puede dividirse en cuatro fases, que están relacionadas entre sí (Figura 5.1).

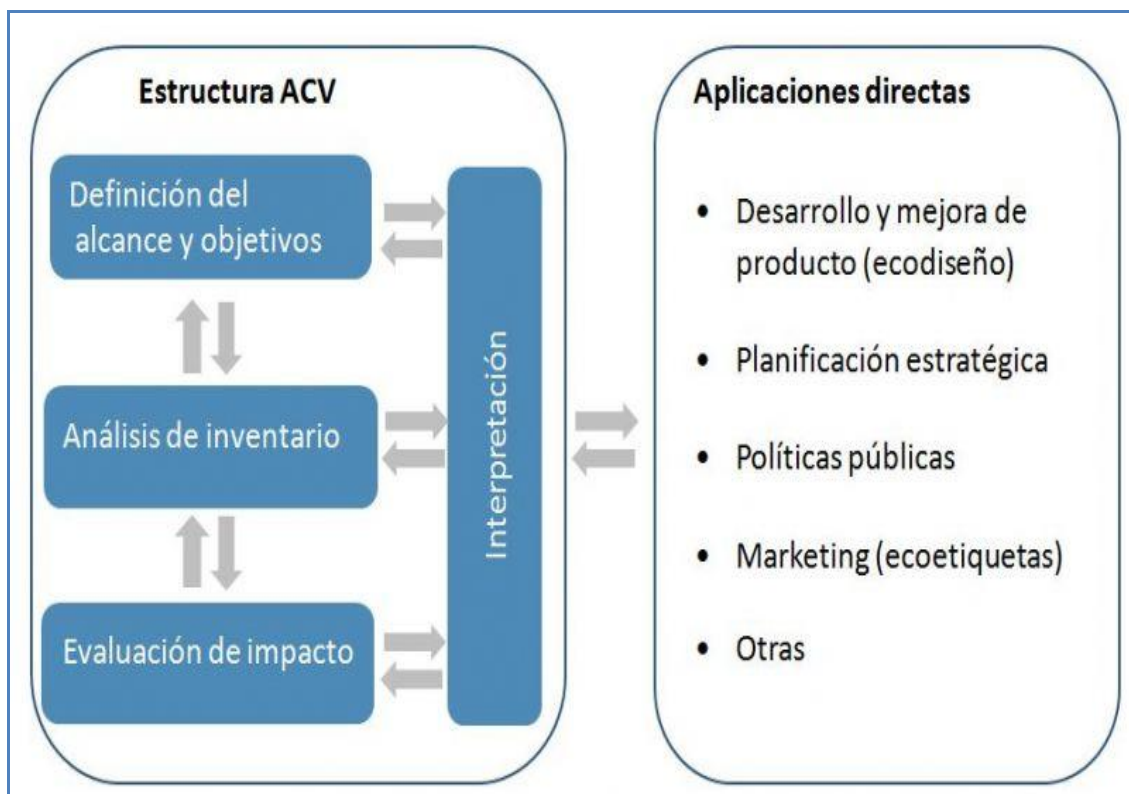


Figura 5.1 Fases de un ACV (UNE-EN-ISO 14040:2006)

5.2.1. Definición del Objetivo y Alcance

Definir el objetivo del estudio consiste en establecer el propósito y a quien va dirigido y describir el uso previsto de los resultados. Objetivos potenciales pueden incluir la determinación de los impactos ambientales en el producto o el proceso del CV, identificando oportunidades para mejorar el sistema existente, o la comparación de diferentes sistemas y sus posibles impactos (tecnologías utilizadas en las incineradoras de RSU).

El alcance determina el sistema de producto o proceso que será analizado, la unidad de los procesos unitarios, unidad funcional, los límites del sistema, los procedimientos de asignación, las categorías de impacto, las necesidades de datos, y las limitaciones. Las definiciones de estos términos se establecen en los epígrafes de la UNE-EN-ISO 14040: 2006 y UNE-EN-ISO 14044: 2006, algunos de los cuales se resumen a continuación [García Ceballos, L., 2013]:

- “*Un proceso unitario es el elemento más pequeño considerado en el análisis del inventario del ciclo de vida para el cual se cuantifican los datos de entrada y salida*”, describe una etapa dentro del ciclo de vida de un sistema producto y sirve como el elemento básico de análisis en el ACV. La identificación de las unidades de proceso facilita la cuantificación de las entradas y salidas, que incluyen los recursos consumidos y las emisiones de residuos a la atmósfera el agua y la tierra), o flujos en cada fase del CV. “Ejemplos de procesos unitarios incluyen la extracción de cobre para producir las conexiones eléctricas. Estos flujos se agrupan en las fase comunes, tales como la adquisición de recursos primarios, el procesado de materias primas, fabricación y montaje, transporte, utilización y, por último, al final de su vida útil.”
- “*Un sistema de producto es el conjunto completo de pasos que están involucrados en la producción, uso y eliminación de un producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida. En el ACV de un sistema de producto se evalúa el consumo de recursos y las emisiones de subproductos o residuos efectuados por cada proceso o fase del ciclo de vida.*”
- “*Límites del sistema definen los procesos unitarios a ser incluidos en el sistema*”. Estos límites de especificación de los procesos se deben incluir en el ACV. La descripción exacta del sistema y sus límites tiene fuertes implicaciones para los resultados de la evaluación y deben ser claramente establecidos. Debido a que los resultados presentados en este documento se basa en varios estudios de la evaluación del inventario del ciclo de vida (algunas de las cuales proporcionan una documentación limitada en sus en sus propios límites del sistema), la definición de límites claros del sistema para este análisis es difícil. Por lo general este análisis considera el consumo de energía asociado con la adquisición de los recursos primarios, el procesamiento de materias primas, fabricación y montaje, el transporte de la fabrica a un punto de venta y el uso de cada producto de la instalación de de incineración de RSU.
- “*La unidad funcional (UF) define la cuantificación de las funciones idénticas (características de desempeño) del producto. El propósito*

fundamental de una unidad funcional es proporcionar una referencia a la cual se relaciona las entradas y las salidas”. Esta nos sirve de base para la comparación cuando se consideran los impactos ambientales de los sistemas de múltiples productos. P. ej., los impactos ambientales de las tecnologías de una incineradora de RSU puede ser cuantificada por Tn de residuos tratados, por kWh producidos etc. La UF utilizada en este análisis para comparar los sistemas de la instalación es de 1 Tn de residuos incinerados. Más justificación de la UF utilizada en este informe se puede encontrar en la sección 6.1.3.

- *“La asignación de las entradas y salidas deben asignarse a los distintos productos de acuerdo con procedimientos claramente especificados que deben documentarse y explicarse*”. Los procedimientos de asignación son los métodos utilizados para distribuir la carga ambiental de un proceso entre el sistema de producto en estudio y los sistemas de otro tipo de productos. Esto a menudo es necesario debido a que muchos procesos industriales realizan más de una función o producen más de un tipo de producto. Por lo tanto, los datos de entrada y salida de cada unidad de proceso deben ser adecuadamente repartidos en los sistemas de productos. P. ej., una planta de fabricación se diseña a menudo para producir más de un tipo de producto al mismo tiempo, por lo que los impactos de la instalación se repartirán entre cada uno de dichos productos. Sin embargo, esto es muy difícil de hacer y sigue siendo un problema sin resolver para determinar los impactos del CV de los componentes de los productos y por lo tanto también en la instalación que nos ocupa en el presente trabajo.
- *“Categorías de impacto son las clases que representan asuntos ambientales de interés a las cuales se pueden asignar los resultados del análisis del inventario de ciclo de vida*”. Son los tipos de impactos ambientales a tener en cuenta. Muchos estudios de ACV cubren varias categorías que incluyen el uso de recursos, el potencial de calentamiento global, acidificación, toxicidad y muchos otros. La selección de categorías de impacto determina los tipos de datos que se necesitan para ser recogidos.

5.2.2. Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV)

Es la fase del ACV en la que se recogen los datos correspondientes a las entradas y salidas para todos los procesos del sistema tomando como referencia la unidad funcional (UNE-EN-ISO 14040:2006). El primer paso en la elaboración del inventario y recogida de datos es la elaboración de un diagrama que identifique las entradas y salidas del sistema previamente definido en el punto anterior.

Las etapas a cuantificar son las que componen el CV del producto/ proceso (UNE-EN-ISO 14040:2006):

- Adquisición de materias primas: esta etapa comprende desde las actividades necesarias para la adquisición de materias primas o de energía hasta la primera fase de manufactura o procesamiento del material.
- Manufactura, procesado y formulación: esta etapa comprende las etapas que tienen lugar desde la introducción de las materias primas en el proceso hasta que se obtiene el producto final.
- Distribución y Transporte: el transporte comprende el movimiento de materiales o de energía entre las diferentes operaciones en cualquier etapa del ciclo de vida, incluida la extracción de recursos. La distribución comprende el paso de los productos manufacturados desde su salida de fábrica hasta el usuario final.
- Uso/Reutilización/Mantenimiento: los límites de esta etapa comienzan con la distribución de los productos o materiales y termina cuando estos productos o materiales pasan a ser residuos.
- Reciclado: comprende todas las actividades necesarias para recoger el residuo y devolverlo a un proceso de fabricación.
- Gestión de Residuos: incluye todos los mecanismos de tratamiento de los residuos (estudio de las posibles alternativas de gestión).

Los datos cualitativos y cuantitativos a incluir en el inventario deben recopilarse para cada proceso unitario incluido dentro de los límites del sistema. Siempre que sea

posible, es recomendable utilizar datos directamente obtenidos del proceso en estudio, a través de los siguientes apartados (UNE-EN-ISO 14044:2006):

- Medidas de campo.
- Balances de materia y energía.
- Entrevistas, fuentes bibliográficas, ...

El inventario, a fin de dar una visión global del producto/proceso al que corresponde, además de los datos cuantificados debe constar de (UNE-EN-ISO 14040:2006):

- Diagramas de flujo que dejen claro el sistema en estudio, así como las relaciones que tienen lugar dentro del mismo.
- Descripción detallada de cada unidad de proceso, listando la categoría de los datos asociados con cada una de ellas.
- Desarrollo de una lista donde se especifiquen las unidades de medida de cada parámetro.
- Descripción de los métodos empleados para recoger los datos y de las técnicas de cálculo empleadas para cada categoría de datos.
- Instrucciones informando claramente de fuentes documentales para casos especiales, irregularidades, o cualquier otra circunstancia asociada con la recogida de datos.

5.2.3. Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV)

La fase de EICV relaciona los resultados del Análisis de Inventario con los efectos ambientales a que dan lugar, con el fin de valorar la importancia de los potenciales impactos que generan. En el contexto del ACV, se trata de ligar los datos obtenidos en el inventario con una categoría de impacto y cuantificar la contribución a esta de cada uno de ellos (UNE-EN-ISO 14040:2006).

La EICV consta de las etapas que se ilustran en la Figura 5.2.

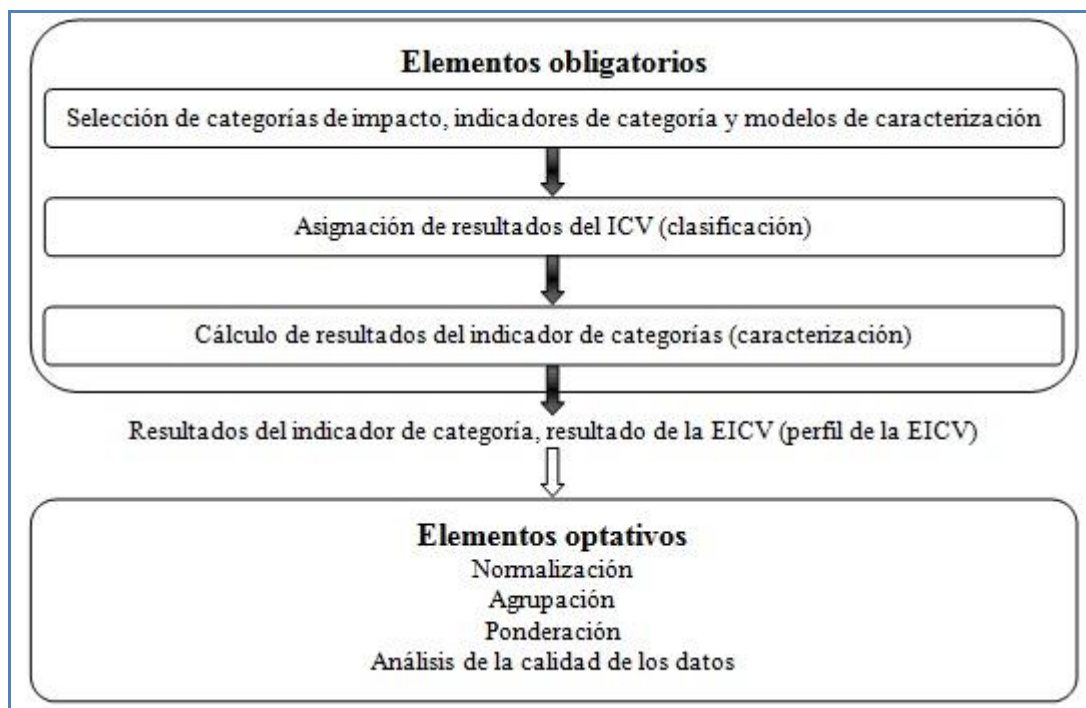


Figura 5.2 Elementos de la fase de EICV (UNE-EN-ISO 14040:2006)

5.2.3.1. Selección de categorías de impactos, indicadores de categoría y modelo de caracterización

Consiste en la elección de cada uno de los parámetros en función del sistema de producto bajo estudio, debiendo ser coherentes con el objetivo y el alcance del ACV. “Los modelos de caracterización reflejan el mecanismo ambiental describiendo la relación con los resultados del ICV y los indicadores de categoría” [UNE-EN-ISO 14044: 2006]; es decir, el mecanismo ambiental es el que relaciona los procesos ambientales con la caracterización de los impactos.

5.2.3.2. Clasificación

La fase de clasificación consiste en asignar los datos del inventario (flujos energéticos, materiales, etc.) a cada una de las categorías de impactos que se vayan a considerar. Se ha de indicar el área afectada por el impacto ambiental. El resultado final

de esta fase es un inventario agrupado y simplificado donde sólo aparecen aquellos flujos energéticos y de materiales que afecten a la categoría de impacto seleccionada. P. ej., las emisiones de óxidos de nitrógeno son tóxicas, tienen efecto en la acidificación de las aguas y también en su eutrofización por ser un alimento para las algas.

5.2.3.3. Caracterización

La caracterización es el cálculo de la contribución potencial de cada compuesto detectado en el análisis de inventario a un efecto ambiental. Para ello se suelen referir a un modelo, que utilizará unos factores de caracterización, y de esta forma estos valores pueden compararse entre sí más adelante. P. ej. Los gases de efecto invernadero recogidos en el inventario, afectan a la categoría de impacto del cambio climático (Radiación infrarroja, W/m^2), si se usa el modelo de caracterización “Modelo de línea base de 100 años del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático”, el resultado de su aplicación nos daría las emisiones de CO₂ eq. o la contribución a la categoría de calentamiento global y nos definirá la importancia ambiental (este indicador va a afectar al clima, dependiendo de la adsorción del calor atmosférico causado por las emisiones de ciertos gases) (UNE-EN-ISO 14044: 2006).

5.2.3.4. Normalización

La normalización se define como “el cálculo de la magnitud de los resultados del indicador de categoría con respecto a cierta información de referencia” (UNE-EN-ISO 14044:2006). Una referencia comúnmente utilizada es el promedio de carga ambiental anual en un país o de un continente, dividido por el número de habitante. Sin embargo, la referencia puede ser elegida libremente. Esto puede ser útil para comunicar los resultados de los ACVs.

Se trata de un paso opcional dentro del ACV, más concretamente dentro de la fase de EICV, que puede ser utilizada como ayuda en la interpretación de los datos del Inventario [Sleeswijk, Anneke Wegener, et al., 2008].

Con el fin de analizar la importancia relativa de cada efecto considerado durante la caracterización, se recurre a la normalización. Su objetivo es entender mejor la magnitud relativa para cada resultado del sistema estudiado.

La normalización es necesaria debido al hecho de que los valores que se obtienen durante la caracterización, como se ha expuesto, están expresados en diferentes unidades. Permite trasladar los resultados de la clasificación a unidades que permitan su comparación y su interpretación.

Tras la normalización de cada efecto, se lleva a cabo la agregación de los datos, con lo que se obtiene un perfil ambiental del CV bajo estudio.

5.2.3.5. Agrupación

Consiste en la asignación de las categorías de impacto en uno o más conjuntos, para poder organizarlas según una jerarquía.

5.2.3.6. Ponderación

Consiste en determinar la magnitud de cada categoría de impacto caracterizada, teniendo en cuenta unos objetivos o metas definidas por políticas medioambientales previamente establecidas, hasta que ocurra la reducción o total eliminación de estos efectos sobre el medio ambiente. Esto significa que las categorías de impacto se multiplican por factores de ponderación. Dependiendo del factor se pueden llegar a diferentes resultados.

5.2.4. Interpretación

La interpretación es la fase del ACV, en la cual los hallazgos del análisis del inventario y de la evaluación de impacto se consideran juntos o, en el caso de estudios de ICV, sólo se consideran los hallazgos del análisis del inventario. La fase de interpretación debería proporcionar resultados que sean coherentes con el objetivo y el

alcance definidos, que lleguen a conclusiones, expliquen las limitaciones y proporcionen recomendaciones (UNE-EN-ISO 14040:2006).

Existen diversos tipos de ACV según el “alcance” del ciclo de vida que se va a examinar (Figura 5.3), no obstante, en esta Tesis el enfoque que se va a utilizar es el “de la cuna a la tumba”. Esto examina el ciclo de vida completo, desde la extracción de materia prima (“cuna”) al final de la vida (“la tumba”). El período de análisis se elige en base a la mayor durabilidad de los componentes, para garantizar la máxima vida útil posible y los impactos asociados con su ciclo de vida se amorticen durante todo su ciclo de vida.

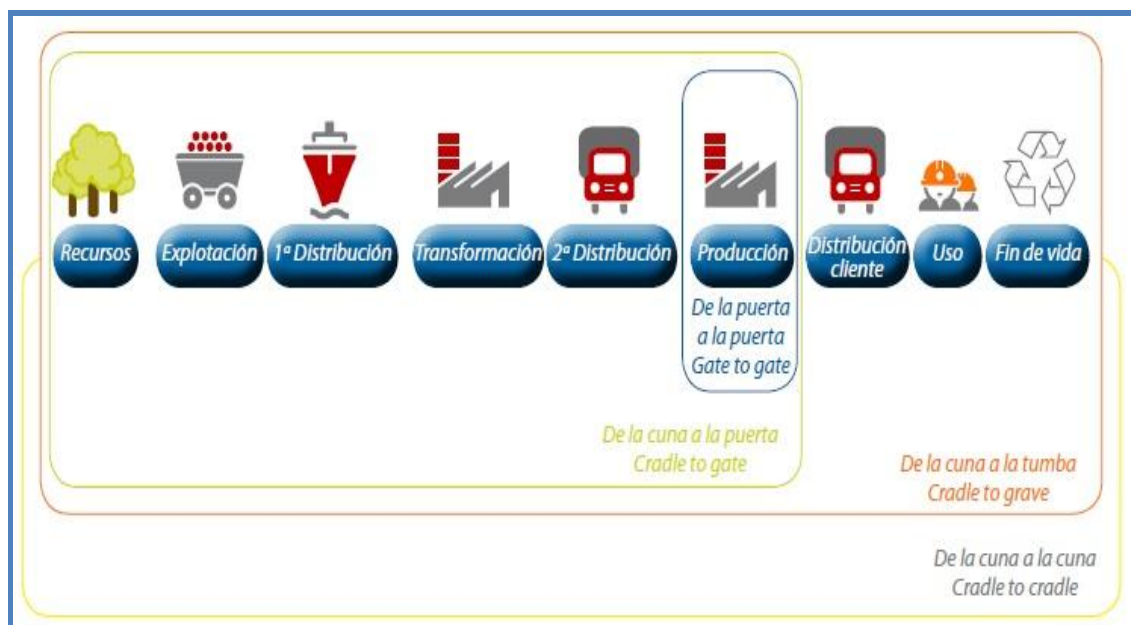


Figura 5.3 Terminología relacionada con el alcance de un ACV [IHOBE, 2009]

5.3. Impactos ambientales en el CV

Cuando se desea evaluar medioambientalmente un producto, es preciso determinar los impactos ambientales del mismo. Para ello no basta con estudiar sólo el producto físico, se requiere una visión del sistema del producto en su conjunto (UNE-EN-ISO 14044: 2006). En el caso de la incineradora de RSU, no bastaría con analizar el impacto ambiental de la instalación sino que habría que considerar el mix eléctrico, la

eficiencia de la planta, etc.

Antes de aplicar como se puede evaluar el impacto ambiental de un producto se necesita definir dos términos fundamentales: aspecto ambiental e impacto ambiental [García Ceballos, L., 2013].

- *Aspecto ambiental*: elemento de las actividades, producto o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente (UNE-EN-ISO 14040: 2006). Este término está asociado directamente al producto.
- *Impacto ambiental*: cualquier cambio en el medio ambiente, sea adverso (impacto negativo) o beneficioso (impacto positivo), resultante en todo o en parte de las actividades, productos o servicios de una organización. Este término está asociado directamente con el medio ambiente [IHOBE, 2000]. Por lo tanto, para analizar los impactos ambientales de un producto el primer paso es llevar a cabo un estudio de cuáles son los aspectos ambientales relacionados con el mismo, para posteriormente poder determinar qué impacto tienen sobre el medio ambiente, ya sea positivo o negativo.

A continuación se describe de forma general los impactos ambientales más comunes:

- *Agotamiento de recursos abióticos*: Esta categoría de impacto se refiere a la protección del bienestar humano, la salud humana y la salud del ecosistema. Este indicador de categoría de impacto está relacionado con la extracción de minerales y combustibles fósiles, debido a las entradas en el sistema. El factor de agotamiento abiótico (ADF) se determina para cada extracción de minerales y combustibles fósiles (kg equivalentes de antimonio (Sb) / kg de extracción) sobre la base de reservas de concentración y la tasa de acumulación. El ámbito geográfico de este indicador es a escala local y global.

- *El cambio climático:* El cambio climático puede provocar efectos adversos sobre la salud de los ecosistemas, la salud humana y el bienestar material. El cambio climático está relacionado con las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. El modelo de caracterización como el desarrollado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) se selecciona para el desarrollo de factores de caracterización. Los factores se expresan como Potencial de Calentamiento Global para el horizonte temporal de 100 años (GWP100), en kg de dióxido de carbono (CO₂) / kg de emisiones. El ámbito geográfico de este indicador es a escala global.
- *Agotamiento del ozono estratosférico:* Debido a la disminución del ozono estratosférico, una mayor fracción de la radiación UV-B llega a la superficie terrestre. Esto puede tener efectos nocivos sobre la salud humana, la salud animal, los ecosistemas terrestres y acuáticos, los ciclos bioquímicos y de las materias. Esta categoría está relacionada con los resultados a escala global. El modelo de caracterización es desarrollado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y define el potencial de agotamiento del ozono de diferentes gases (kg CFC-11 equivalente / kg de emisiones). El ámbito geográfico de este indicador es a escala global. El lapso de tiempo es infinito.
- *Toxicidad Humana:* Esta categoría se refiere a los efectos de sustancias tóxicas en el medio ambiente humano. Los riesgos para la salud de la exposición en el entorno de trabajo no están incluidos. Los factores de caracterización, expresados como Potenciales de Toxicidad Humana (HTP), se calculan con el modelo USES-LCA [Rosenbaum, R. K. et al., 2008], que describe el destino, la exposición y los efectos de las sustancias tóxicas para un horizonte de tiempo infinito. Cada sustancia tóxica HTP se expresa como kg equivalente de 1,4-diclorobenceno / kg de emisiones. El ámbito geográfico de este indicador determina el destino de una sustancia y puede variar entre la escala local y global.

- *Agua dulce, eco-toxicidad acuática:* Este indicador de categoría se refiere a los efectos en los ecosistemas de agua dulce, como consecuencia de las emisiones de sustancias tóxicas al aire, agua y suelo. El potencial de eco-toxicidad (FAETP) se calcula con el modelo USES-LCA [Rosenbaum, R. K. et al., 2008], que describe el destino, la exposición y los efectos de sustancias tóxicas.

El horizonte temporal es infinito. Los factores de caracterización se expresan como kg equivalentes de 1,4-diclorobenceno / kg de emisiones. El indicador se aplica a escala mundial, continental, regional y local.

- *Eco-toxicidad marina:* La eco-toxicidad marina se refiere a los impactos de las sustancias tóxicas en los ecosistemas marinos (ver descripción toxicidad agua dulce).
- *Eco-toxicidad Terrestre:* Esta categoría se refiere a los efectos de las sustancias tóxicas en los ecosistemas terrestres (ver descripción toxicidad agua dulce).
- *Formación de foto-oxidantes:* La formación de foto-oxidantes es la formación de sustancias reactivas (principalmente ozono) que son perjudiciales para la salud humana y los ecosistemas y que también pueden dañar los cultivos. Este problema también se indica con "smog de verano". El smog de invierno se encuentra fuera del alcance de esta categoría. El potencial de creación de ozono foto-químico (POCP) para la emisión de sustancias a la atmósfera se calcula con el modelo de trayectoria de la UNECE [UNECE. 2011] (incluidos el destino), y se expresa en kg equivalentes de etileno (C₂H₄) / kg de emisiones. El lapso de tiempo es de 5 días y la escala geográfica varía entre la escala local y continental.
- *Acidificación:* Las sustancias acidificantes causan una amplia gama de impactos sobre los suelos, las aguas subterráneas, aguas superficiales, los organismos, los ecosistemas y los materiales (edificios). El Potencial de

Acidificación (AP) para las emisiones a la atmósfera se calcula con RAINS 10 MODEL [Amann, M. et al., 1999], que describe el destino y la deposición de sustancias acidificantes. AP se expresa como kg equivalentes de dióxido de azufre SO_2 / kg de emisiones. El lapso de tiempo es la eternidad y la escala geográfica varía entre la escala local y escala continental.

Por otra parte, cuando se considera el efecto de la acidificación, habría que considerar las cargas ambientales debidas a las emisiones que contribuyen al mismo, esto es, CO_2 , NO, NO_2 , NO_x , NH_3 , HCl y HF. Debido a que para valorar el efecto global de la acidificación es necesario tener todas las emisiones en unidades idénticas, se toma una como referencia y se expresa el resto en función de ella. Para este efecto concreto, se toma como referencia el SO_2 , se le asigna valor 1 y se expresa el resto como equivalentes de SO_2 UNE-EN-ISO 14044:2006.

Así, para medir la contribución del efecto de acidificación, se recurre a un factor de caracterización denominado potencial de acidificación (AP), el cual se define como la capacidad de una unidad de masa contaminante de emitir H^+ para absorber radiación infrarroja en relación con la capacidad del SO_2 .

La contribución parcial de cada sustancia a este efecto se calcula como el producto de su potencial de acidificación por la masa de esa sustancia que es emitida al aire. De acuerdo a esto, la contribución total a la acidificación puede definirse como la suma de las contribuciones parciales UNE-EN-ISO 14044:2006:

$$\text{Contribución total a acidificación} = \sum (\text{AP}_i \cdot m_i) \quad \text{Ec. 2.1}$$

donde:

AP_i : Potencial de acidificación de la sustancia i

m_i : Masa de sustancia i emitida

Las unidades vienen expresadas en kg de SO₂ equivalentes

- *La eutrofización:* La eutrofización (también conocida como nutrificación) incluye todos los impactos debido a los niveles excesivos de macronutrientes en el medio ambiente causados por las emisiones de nutrientes al aire, agua y suelo. El Potencial de Nutrificación (NP) se basa en el procedimiento estequiométrico de Heijungs (1992) [Heijungs, R. et al., 1992], y se expresa como kg PO₄ equivalentes por kg de emisiones. El destino y la exposición no están incluidos, el período de tiempo es la eternidad, y la escala geográfica varía entre la escala local y continental.

5.4. Metodologías adoptadas en la evaluación de impacto

En este apartado se hace una descripción de los principales métodos de evaluación de impactos que se pueden seleccionar al hacer un estudio de ACV. Actualmente existen varios métodos, basados en los ecoindicadores²⁴ [Aranda Uson A. et al., 2006], de los cuales destacamos los siguientes:

5.4.1. CML-IA baseline versión 3.01

En 2001, un grupo de científicos bajo el liderazgo de CML²⁵ propuso un conjunto de categorías de impacto y los métodos de caracterización para la etapa de evaluación de impacto [CML. 2015].

El método de evaluación de impacto implementado como metodología CML-IA se define para el enfoque de punto medio. De los elementos optativos (Figura 5.2) utiliza sólo la normalización, descartando tanto la ponderación como la agrupación.

Las categorías de impacto ambiental de punto medio se hallan más cercanas a la

²⁴ Los ecoindicadores son números que representan el impacto ambiental total de un producto o servicio.

²⁵ Center of Environmental Science of Leiden University

intervención ambiental, permitiendo, en general, modelos de cálculo que se ajustan mejor a dicha intervención. Éstas proporcionan una información más detallada de qué manera y en qué punto se afecta el medio ambiente.

El objetivo principal del método CML-IA, es transformar la larga lista de los resultados del ICV, en un número limitado de indicadores ambientales. Estos indicadores expresan la gravedad relativa de cada categoría de impacto ambiental.

La metodología de CML-IA utiliza 10 categorías de impacto:

- Agotamiento de recursos abióticos
- El cambio climático
- Agotamiento del ozono estratosférico
- Toxicidad Humana
- Agua dulce, eco-toxicidad acuática
- Eco-toxicidad marina
- Eco-toxicidad Terrestre
- Formación de foto-oxidantes
- Acidificación
- La eutrofización

5.4.2. ReCiPe, Pré Consultants

ReCiPe se desarrolló para combinar las ventajas de los métodos CML2001 y Eco-Indicator99. La ventaja del método CML es su solidez científica, mientras que la ventaja del Eco-indicator 99 es su facilidad de interpretación. Con ello, se han mejorado los modelos para el cambio climático, la destrucción de la capa de ozono, acidificación, eutrofización, uso del suelo y agotamiento de recursos naturales. A su vez se han actualizado factores de caracterización para algunas categorías de impacto y para el paso de normalización. Las categorías de impacto ambiental son: Destrucción capa ozono, Toxicidad humana, Radiación, Smog foto-químico, Formación partículas, Cambio Climático, Eco-toxicidad al suelo, Acidificación al suelo, Ocupación suelo

rural, Ocupación suelo urbano, Transformación suelo natural, Eco-toxicidad marina, Eutrofización marina, Eutrofización agua dulce, Eco-toxicidad agua dulce [IHOBE, 2009].

5.4.3. Ecoindicador 95

Este método surge a partir de un proyecto de I+D, organizado por diversas asociaciones, institutos de investigación y empresas: Pré Consultants, Philips Consumer Electronics, NedCar (Volvo/Mitshubishi), Océ Copiers, Schuurink, CML Leiden, TU-Delft, IVAM-ER (Ámsterdam) y CE Delft. El método se adecua fielmente a la metodología recomendada por la SETAC²⁶. Se consideran 10 categorías de impacto [Aranda Uson, A. et al., 2006]:

- Efecto invernadero
- Capa de ozono
- Acidificación
- Eutrofización
- Metales pesados
- Sustancias cancerígenas
- Polución
- Pesticidas
- Recursos energéticos
- Residuos sólidos.

5.4.4. Ecoindicador 99

Sucesor del Eco-Indicator 95. Su desarrollo comenzó con el estudio de asignación de pesos para el Eco-Indicator 95. Se cambió el sistema de evaluación de impactos: En lugar de evaluar cada una de las categorías de impacto, se evaluaron los

²⁶ Society of Environmental Toxicology and Chemistry

diferentes daños causados por estas categorías de impacto, agrupándolos en tres niveles de daño (enfoque de punto final) [IHOBE, 2009]:

- Daños a la salud Humana
- Daños a la calidad del Ecosistema
- Daños a los Recursos.

5.4.5. Demanda de energía acumulada (CED)

Esta metodología se utiliza para calcular la demanda de energía acumulada (CED), basado en el método publicado por Ecoinvent versión 3.0 y se desarrolló por Consultores PRé de las materias primas disponibles en la base de datos de SimaPro [Frischknecht, R. et al., 2007].

La caracterización de los factores se dan para los recursos energéticos divididos en 5 categorías de impactos:

- No fósiles renovables
- No renovables, la energía nuclear
- Biomasa renovable
- Renovable, eólica, geotérmica solar
- Agua renovable

Este método no usa la normalización y la ponderación si la utiliza con el fin de obtener un total (“acumulativo”) la demanda de energía. Cada categoría de impacto se le atribuye un factor de ponderación igual a 1.

5.4.6. TRACI 2.1

Es una metodología desarrollada, en 1995, por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Tiene un enfoque de punto medio. Supone una herramienta informática para la evaluación de 10 categorías de impacto. Se suele

utilizar para las entradas en Estados Unidos. Aunque dispone de valores medios para usarlos en sitios indeterminados. Incluye la clasificación, la caracterización y la normalización.

Incluye las siguientes categorías de impacto [Bare, J. et al., 2006]

- Disminución de ozono
- Calentamiento global
- Niebla tóxica
- Acidificación
- Eutrofización
- Sustancias cancerígenas
- Sustancias no cancerígenas
- Efectos respiratorios
- Ecotoxicidad
- Agotamiento de los combustibles fósiles

5.4.7. Ecological scarcity 2013

Llamado también EcoPoint, corresponde a una actualización de La versión anterior, de 2006. Desarrollado por el Ministerio de Medio Ambiente suizo en 1990. Utiliza la caracterización, la normalización y la ponderación. Está basado en la distancia al objetivo que ofrece como resultado un indicador de impacto único.

Las categorías de impacto consideradas por este método no se definen como un indicador de impacto, sino más bien como un tipo de emisión o de recurso:

- Fuentes de agua
- Fuentes de energía
- Fuentes de minerales
- Uso del suelo
- Calentamiento global
- Agotamiento de la capa de ozono

- Contaminantes atmosféricos principales
- Sustancias cancerígenas en el aire
- Metales pesados en el aire
- Contaminantes del agua
- Metales pesados en el agua
- Plaguicidas en el suelo
- Metales pesados en el suelo
- Sustancias radiactivas en el aire
- Sustancias radiactivas en el agua
- Ruido
- Residuos no radiactivos para depositar
- Residuos radiactivos para depositar

5.4.8. EPD (2013)

Este método es el sucesor del EPD (2008) y se crea de acuerdo a una regla de categoría de producto. Este método es importante para todos los que están reportando una regla de categoría de producto publicado por Environdec. Las Reglas de Categoría de Producto documentos (PCR) definen los requisitos para la EPD de una determinada categoría de producto. Son vitales para el concepto de declaraciones ambientales, ya que permiten la transparencia y la comparabilidad entre diferentes EPD basado en la misma PCR. Utiliza las siguientes categorías de impacto:

- Acidificación
- Eutrofización
- Calentamiento global
- Oxidación fotoquímica

5.4.9. EDIP 2003

EDIP 2003 es una metodología danesa que se presenta como una actualización de la metodología EDIP 97. La principal innovación de EDIP2003 radica en el intento

consistente para incluir la exposición en el modelado de la caracterización de las principales categorías de impacto no globales. Se puede utilizar con y sin diferenciación espacial. Utiliza 19 categorías de impacto, algunas de las cuales corresponden a actualizaciones de la versión anterior.

5.4.10. ILCD 2011 Midpoint

Consiste en recomendaciones para la evaluación de impacto de ciclo de vida europeo. Se dan recomendaciones para las categorías de impacto más usuales. La intención fue identificar y promover las mejores prácticas actuales. Estas recomendaciones no se proporcionan para ponderar en todas las categorías de impacto, ni para la normalización dentro de una categoría determinada en relación con, p. ej., impactos en una región determinada.

5.4.11. IPCC 2013

IPCC 2013 es una actualización del método del IPCC de 2007 elaborado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Este método se enumeran los factores de cambio climático del IPCC con un plazo de 20, 100 y 500 años.

5.4.12. USEtox

USEtox es un modelo ambiental para la caracterización de los impactos humanos y ecotoxicológicos en la Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida y de evaluación de riesgos. Ha sido desarrollado por un equipo de investigadores de la Society for Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). USEtox está diseñado para describir el destino, la exposición y los efectos de los productos químicos. USEtox sirve para mejorar la comprensión y la gestión de los productos químicos en el medio ambiente mundial. Este método se encuentra aún en revisión.

De todas estas metodologías usaremos la MCL-IA en nuestro estudio (apartado 5.6).

5.5. Bases de datos y software

Existen en el mercado, en la actualidad una gran oferta de programas informáticos que facilitan el desarrollo rutinario y laborioso de los ACV. Dichos programas se asocian a completas bases de datos que un ACV precisa. A la hora de la elección para realizar cualquier estudio hay que fijarse tanto en la calidad de los datos de las bases como en la facilidad del manejo de la herramienta.

Es decir, que la ejecución de un ACV se cuenta para su desarrollo con el apoyo de distintos software para facilitar así la gestión del conjunto de datos que se obtienen del análisis de cualquier proceso que se quiera examinar.

Depende considerablemente a la hora de confeccionar y sacar los resultados de un ACV de las bases de datos (BBDD) que se empleen. Todavía no se ha llegado a un acuerdo universal sobre la valoración de los Impactos Ambientales (IA) que una sustancia produce en una determinada región y en unas determinadas condiciones.

5.5.1. Bases de datos

Las BBDD, recogen sólo las situaciones más habituales de los impactos ambientales, para ello se basa en valores disponibles, y por tanto los datos se pueden interpretar de formas distintas dependiendo del grupo de valoración. La BBDD pueden contener datos de múltiples sectores o ser específicas para la aplicación concreta en un sector. En muchas ocasiones, se crean o modifican BBDD ya existentes para poder disponer de BBDD sectoriales y permitir trabajar de manera más sencilla y detallada para el proyecto o aplicación en cuestión en el sector deseado. Es muy importante realizar un estudio de las características y de qué tipos de datos nos pueden aportar las distintas bases de datos que podamos utilizar. Y además tener presente, que siempre

que se comparen dos o más productos se debe de realizar basándonos en la misma base de datos y las mismas hipótesis de trabajo.

Las BBDD para realizar los inventarios de ciclo de vida (ICVs) están formadas por datos de muy diversos materiales y procesos, generalmente agrupados según la fase de CV a la que hagan referencia. A través de estas BBDD es posible asignar a cada entrada/salida recogida en el ICV una serie de datos de la BBDD que le aportarán la información sobre su impacto ambiental, los factores de caracterización, normalización, etc.

A continuación se lista una serie de BBDD de uso habitual en los ACVs. Aunque de manera genérica se llamen BBDD, la realidad es que estas suelen integrar ambos tipos de BBDD comentados: BBDD de ICV y BBDD de metodologías. Son por lo tanto BBDD integradas. Nos podemos encontrar entre las más habituales [Aguayo Gonzalez, F. et al., 2011].

- IDEMAT (UNIV. TEC. DE DELFT): es una base de datos holandesa muy completa para seleccionar las materias primas y los recursos empleados en el proceso de diseño de un producto. Esta posee mucha información técnica sobre materiales y procesos industriales habituales (como metales, aleaciones, plásticos, etc.), energía y transporte. Se actualizó en el 2001 y se asienta en tecnologías generales.
- Ecoinvent Database V2.1.: BBDD con procesos industriales generales, posee 2500 datos sobre energía, transporte, materiales, compuestos químicos y gestión de residuos. Su desarrollo se realizó en Suiza en 2007 y de carácter informativo mixto. En el año 2013 se actualizó a la versión V3.0 [ECOINVENT, 2015].
- Industry data 2.0: Realizado por varias asociaciones e industrias europeas recopilados en 2008, también tiene carácter mixto.
- Metal Resourcer: Tiene aplicación específica y fue recopilada en 1990 en Inglaterra, es una BBDD sobre metales y energía.

- BUWAL 250: generada en Suiza en el 2004 y de carácter general. Es una BBDD que recoge una serie de inventarios de diferentes CV generales con información sobre procesos, materiales, transporte, gestión de residuos, etc.
- Data Archive: BBDD de materiales, energía, transporte, procesamiento y transformación y tratamiento de residuos. Es una compilación de otras BBDD (BUWAL 132, ETH-WSU System, Chamers, PWMI o SPIN). Es de aplicación mixta y está realizada en Europa en el 2003.
- ETH-ESU96: Desarrollada en 1996 en Suiza y de aplicación específica. BBDD con más de 1200 procesos sobre generación de electricidad, transporte, procesos y tratamiento de residuos.

Otras BBDD que podemos encontrar son [GREENDELTA, 2015]:

- Agribalyse: BBDD de los principales productos agrícolas franceses. Proporcionada por la Agencia Francesa de Gestión de Medio Ambiente y Energía, como resultado del programa Agribalyse. Incluye procesos globales y unitarios, conectados a ecoinvent v.2.2.
- ProBas: es una biblioteca de datos alemana originalmente proporcionada por la Agencia Alemana de Medio Ambiente. Incluye energía, materiales y productos, servicios de transporte y residuos.
- USDA: BBDD de ACV que contiene conjuntos de datos agrícolas de Estados Unidos, proporcionados por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA).
- GaBi: BBDD con procesos industriales, creado por thinkstep, FKA PE internacional. La versión más reciente es GaBi 2014.
- Ökobaumat: BBDD de materiales de construcción, proporcionada por el Ministerio Federal de Transportes, Obras Públicas y Desarrollo Urbano alemán.
- NEEDS: creada por NEEDS (New Energy Externalities Developments for Sustainability). Contiene datos de ICVs industriales, transporte, electricidad y materiales.

- ELCD: desde su primer lanzamiento en 2006, el ELCD (European reference Life Cycle Database) comprende energía, transporte, residuos, a nivel europeo.
- Bioenergiedat: Utiliza datos de bioenergía en Alemania, desarrollado en el marco del proyecto de investigación alemán BioEnergieDat, con el apoyo del Ministerio Federal Alemán de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear, 2010-2012.

En nuestro estudio se ha utilizado la base de datos Ecoinvent 3.0 por su capacidad de descripción de manera realista de los procesos considerados y por tratarse de una versión actualizada en el momento de la realización de esta Tesis.

5.5.2. Software

Cada vez hay más técnicos ambientales dedicados a la elaboración de ACV. Por este motivo, han surgido diferentes proveedores de desarrollo de software dedicados a facilitarnos esta compleja labor.

En el mercado existe una gran variedad de herramientas que facilitan el trabajo del consultor ambiental. Los software facilitan:

- El acceso a bases de datos comerciales, y la importación de datos.
- Introducir los datos de inventario propios.
- Obtener las tablas del inventario.
- Clasificar, normalizar, y evaluar los resultados obtenidos.
- Señalar los aspectos más significativos.
- Desarrollar análisis de sensibilidad.
- Crear modelos virtuales del producto estudiado.

Sin querer favorecer a un desarrollador por encima de los demás citamos los cinco más importantes [TECPA, 2015]:

- **SimaPro:** Se ha desarrollado por la compañía holandesa PRé Consultants. Es una herramienta profesional para el cálculo de los impactos ambientales, sociales y económicos, asociados a un producto o servicio a lo largo de todo su CV. Posee una BBDD de materiales y procesos muy completa que incluye BBDD científicas de reconocido prestigio internacional entre las que destacan Ecoinvent o la European Life Cycle Database (ELCD) entre otros.

El programa contiene también las principales metodologías de evaluación de impacto (CML 2001 baseline, Ecoindicator 99, Recipe, Impact 2002 +, IPCC 2007 GWP 100a, etc.). Se ha actualizado a la versión SimaPro 8.0.3. en 2015.

- **TEAM:** Creado por la empresa francesa Ecobilan PwC en 1992. Permite gestionar largas BBDD y modelar cualquier sistema de ACV de productos, procesos y actividades de una empresa de acuerdo a las normas UNE-EN-ISO 14040: 2006 y UNE-EN-ISO 14044: 2006. Una versión actualizada corresponde a TEAM 5.2 del 2015.
- **Umberto:** software para ACV, utiliza la BBDD Ecoinvent 3 y Gabi, crea modelos gráficos claros y concisos del CV del producto y además presenta los resultados del ACV con tablas, gráficos y diagramas Sankey.
- **Open LCA:** Creado por GreenDelta desde el año 2006. Se trata de un software totalmente transparente y puede ser modificado por cualquier persona. Utiliza numerosas BBDD de ICVs entre ellas: ecoinvent 3, Gabi y ELCD. La última actualización se ha realizado en el 2015 a la versión 1.4.2.
- **Gabi:** permite utilizar las metodologías de evaluación de impacto más importantes y actualizadas: ILCD 2011 Midpoint, CML 2013, ReCiPe 1.08, IPCC y Traci 2.1.

Para nuestra investigación nos auxiliaremos del software SimaPro ya que a nuestro entender posee bases de datos actualizadas y su manejo es muy intuitivo y además se elaboran los ACVs de forma rápida y rigurosa. Por el análisis realizado sobre el SimaPro hemos constatado que es líder en el mercado, contiene cantidad de datos de inventario (librerías), utiliza la metodología de la norma UNE-EN-ISO 14040:2006 y la

UNE-EN-ISO 14044:2006, proporciona enlaces directos con otros programas como Excel, calcula los impactos de cada etapa o subetapa del modelo y permite obtener resultados en formato gráfico.

5.6. Elección del mecanismo medioambiental

Para el ACV de nuestro estudio, usaremos MCL-IA como mecanismo ambiental. Esta elección se basa en su solidez científica, y porque, en la actualidad, los expertos en ACV se pusieron de acuerdo y eligieron esta metodología en sus estudios. Se trata de una versión reciente, correspondiente a la última revisión (publicada en el año 2013) e internacionalmente aceptada [CML. 2015].

A lo largo del presente estudio hemos constatado que esta metodología presenta una aberración en la categoría de impacto de eco-toxicidad marina por su elevado valor, en la normalización, con respecto a las demás categorías, resultando difícil la representación del conjunto de categorías en una misma grafica. Esta aberración la podemos encontrar en otras publicaciones [Suna Erses Yay, A., 2015].

Para mayor información sobre esta metodología ver apartado 5.4.1.

5.7. Elección de las categorías de impacto e indicadores.

El principio general subyacente de nuestra elección de las categorías de impacto se basa en un compromiso entre una serie de principios diferentes.

- Las categorías de impacto deben reflejar los temas de relevancia ambiental directa. Esto implica, p. ej., que los residuos no son una categoría de impacto, pero que los efectos del tratamiento de residuos deben ser parte del método en términos de sus efectos sobre el cambio climático, la toxicidad, el uso del suelo, etc.
- Las categorías de impacto en el punto medio se definen en el lugar donde los mecanismos comunes a una variedad de sustancias entran en juego. La

acidificación implica toda una serie de pasos, comenzando con la liberación de sustancia acidificantes y terminando con los impactos en los ecosistemas. En algún lugar a lo largo de esta vía, hay un punto en el que las sustancias acidificantes tienen un efecto sobre la saturación del suelo de la base de cationes (base de saturación de cationes) (BSC). Otras sustancias tienen diferentes vías antes de alcanzar ese punto, pero todos tienen una idéntica vía más allá de ese punto. El modelado de los impactos más allá de ese punto incrementará la relevancia política del indicador (por lo que es menos abstracta) – pero a costa de introducir una incertidumbre común. Por lo tanto, la BCS proporciona un indicador adecuado para la categoría de la acidificación de impacto medio.

- Las categorías de impacto son los nombres, pero los indicadores de categoría son las causas mensurables en una vía de impacto. El cálculo de las magnitudes de estos indicadores de categoría – es decir, los resultados de los indicadores de categoría – requiere unos factores de caracterización, que a su vez requieren modelos de caracterización. Por lo tanto, los indicadores de categoría se deben elegir de tal manera que un modelo de caracterización que se ocupa de este indicador de categoría exista o pueda desarrollarse.

Nos centraremos en nuestro estudio en las 11 siguientes categorías (los detalles se encuentran en el apartado 5.3):

- Agotamiento de recursos abióticos
- Agotamiento de combustibles fósiles
- Cambio climático
- Agotamiento del ozono estratosférico
- Toxicidad humana
- Agua dulce, eco-toxicidad acuática
- Ecotoxicidad marina
- Ecotoxicidad terrestre
- Formación de foto-oxidantes
- Acidificación

- Eutrofización

Capítulo 6

ACV de la incineradora de RSU de estudio

6.1. Definición de objetivos y alcance

En este trabajo se ha realizado el ACV de una incineradora de RSU para evaluar los impactos medioambientales de los procesos que intervienen en la instalación y de los materiales utilizados.

6.1.1. Objetivo y alcance

Como se indicó en la introducción, un objeto de esta Tesis es cuantificar las cargas medioambientales y los potenciales impactos asociados a una planta de incineración de RSU. Se propondrán mejoras en los diferentes procesos que intervienen en la instalación, en función de los impactos ambientales derivados de cada uno de ellos. Para ello se utiliza la herramienta medioambiental del ACV.

Este proceso de incineración se analiza teniendo en cuenta la recuperación de energía para la producción de electricidad, utilizando un horno de parrilla y un sistema semi-seco de depuración de gases de combustión (capítulo 4).

Las fases del CV que se van a considerar son desde la extracción de las materias primas de los distintos procesos que intervienen en la instalación hasta el tratamiento de dichos elementos al final de su vida útil. Por lo tanto se trata de un estudio de la “cuna a la tumba”, teniendo en cuenta todas las etapas del ciclo de vida de la fabricación, para uso y disposición final.

6.1.2. Límites del sistema

El establecimiento de los límites del sistema es esencial, pues determina cuales serán las entradas y salidas del mismo. Este estudio queda limitado al proceso de incineración, desde el momento en el que los RSU entran en el horno hasta el momento en el que los residuos son depositados. Las entradas al sistema serán las materias primas y energía necesaria para el tratamiento de los residuos y las salidas del mismo serán las emisiones al aire y los residuos generados (Figura 6.1).

Quedan fuera del estudio, los procesos de reciclado de chatarra y residuos producidos por la incineración (escoria y cenizas).

6.1.3. Unidad Funcional

La Unidad Funcional (UF), se define en la norma UNE-EN-ISO 14040 como “el desempeño cuantificado de un sistema del producto para su uso como unidad de referencia en el estudio de evaluación del CV”. Por lo tanto, el propósito principal de la UF es proporcionar una referencia de cálculo (un parámetro) para que el impacto ambiental, (tales como el uso de energía, emisiones, etc.) se pueda comparar entre sistemas diferentes.

La UF es la medida de la función del sistema estudiado y proporciona una referencia a la que las entradas y salidas puedan estar relacionadas [Rebitzer, G. et al., 2004]. Así que, para la gestión de residuos, la unidad funcional debe definirse en términos de entradas del sistema [Cherubini, F. et al., 2009].

Para evaluar el perfil medioambiental de una instalación de valorización energética de RSU y tener presente todos los elementos que intervienen en el CV (suministro de recursos, producción/fabricación, consumo, transporte, fin de vida) y así poder descubrir y reducir los impactos ambientales, se necesita un parámetro de medida adecuado (UF) a la función del sistema y a las características propias de una incineradora de RSU.

6.1.3.1. Documentos estudiados

Antes de definir la UF, se realizó una revisión de distintos estudios de ACV donde se estudiaban distintos tipos de incineradoras de RSU para conocer los distintos criterios e instalaciones analizadas.

A continuación se hace un resumen de dichas publicaciones consideradas:

- Hung, Ming-Chien, et al., 2011. “*Environmental Impact Evaluation for Various Incinerator Patterns by Life Cycle Perspective: A Case Study in Taiwan*”. Este trabajo analiza dos incineradores de tipo lecho fluidizado y parrillas móviles, que operan en Taiwan. Fueron seleccionados para evaluar su impacto ambiental mediante la metodología del ciclo de vida. Se utilizaron 9 categorías de impacto en la evaluación de impactos del inventario de análisis de vida. La UF elegida fue 1 Tn de RSU incinerados. En el ACV se llega a la conclusión que los impactos ambientales totales del incinerador de parrillas son un poco más alto que los correspondientes al incinerador de lecho fluidizado en el caso de estudio. Los resultados muestran también que los daños producidos por los metales pesados y el calentamiento global corresponden a los impactos ambientales más crítico tanto en el incinerador de lecho fluidizado como el de parrillas. El estudio ha sido de gran ayuda para la elección de los sistemas de tratamiento de RSU.
- Riber, C. et al., 2008. “*Environmental assessment of waste incineration in a life-cycle-perspective*”. El objetivo de este trabajo consistió en cuantificar los impactos ambientales de una planta de incineración de RSU en Aarhus, Dinamarca, antes y después de su modernización en términos de mejora de la depuración de gases y la recuperación de energía. En este trabajo también se ha utilizado 1 Tn de RSU tratados como UF. Se demostró la utilidad del ACV en la identificación de los diversos procesos y sustancias que contribuyeron a cargas ambientales, así como a los ahorros ambientales. El modelo fue fundamental para demostrar la importancia del sistema de recuperación de energía no sólo para la producción de electricidad sino también de calor desde el incinerador.
- Morselli, L. et al., 2007. “*Assessment and comparison of the environmental performances of a regional incinerator network*,”. En este trabajo, el ACV se aplica a siete incineradores de RSU diferentes y de distinta edad en Emilia-Romagna región de Italia, para comparar las diferentes tecnologías de las plantas e identificar los impactos y los procesos ambientales más relevantes. El método de caracterización utilizado en la etapa de la

evaluación del impacto del ciclo de vida es Eco-indicador 99. La unidad funcional es de 1 Tn de RSU. Como primer resultado, se puede observar que, si bien los sistemas de combustión son bastante similares, las principales variaciones son atribuibles a las distintas tecnologías de depuración de gases y la eficiencia en la recuperación de energía, que se traducen en muy diferentes actuaciones medioambientales. Entre los metales pesados, en particular se debe prestar atención a Cd y As, debido a su alta toxicidad, a pesar de sus bajas cantidades. El impacto debido a la emisión de dioxinas es menor que otros contaminantes (p. ej., metales pesados). Además, un sistema catalítico podría ser útil para una eliminación completa de contaminantes orgánicos y para una reducción más eficaz de óxidos de nitrógeno. Por último, las plantas más recientes proporcionan las mejores actuaciones ambientales para la misma cantidad de residuos quemados.

- Scipioni, A. et al., 2009. “*LCA to choose among alternative design solutions: The case study of a new Italian incineration line,*”. En este estudio la metodología de ACV se aplicó a una nueva línea de incineración de RSU Italiana, para facilitar la predicción, durante la fase de diseño, de sus potenciales impactos ambientales en términos de daños para la salud humana, la calidad de los ecosistemas y el consumo de recursos. El objetivo del estudio fue analizar tres diferentes alternativas de diseño: una planta de incineración con sistema seco de depuración de gases (con y sin recuperación energía) y uno con un sistema húmedo de depuración de gases. En este caso también se ha utilizado 1 Tn de RSU incinerados como UF. A partir de los resultados del estudio, el sistema de recuperación de energía y el sistema seco de depuración de gases revelaron menor impacto ambiental en relación con la calidad del ecosistema.
- Beylot, A. et al., 2013. “*Environmental impacts of residual Municipal Solid Waste incineration: A comparison of 110 French incinerators using a life cycle approach*”. Este estudio compara los impactos ambientales de 110 incineradores franceses (es decir, 85% del número total de plantas actualmente en actividad en Francia). Para ello se utiliza el ACV, considerando 5 categorías de impacto: el cambio climático, la formación de

oxidantes fotoquímicos, la formación de partículas, la acidificación terrestre y la eutrofización marina. La UF utilizada es 1 Tn de RSU incinerados. El resultado más destacado es la gran variabilidad de los potenciales impactos en función de las prestaciones técnicas de las plantas. En particular, el impacto del cambio climático relativo a la UF oscila entre 58 kg CO₂-eq y una carga de 408 kg CO₂-eq, con 294 kg CO₂-eq como el impacto promedio. Dos principales parámetros específicos de la planta han sido decisivos para determinar dichos impactos: la recuperación de energía y las emisiones de NO_x.

- Morselli, L. et al., 2004. “*Tools for evaluation of impact associated with MSW incineration: LCA and integrated environmental monitoring system,*”. En este trabajo un ACV y un sistema de monitoreo ambiental se aplicaron en conjunto, con el fin de obtener una información completa sobre el proceso de incineración de RSU y su impacto ambiental. El proceso de la incineración de RSU ha contribuido a muchos impactos evitados debido a la recuperación energía. Se hallaron interesantes correlaciones entre los metales pesados en las emisiones de gases y en matrices naturales en los alrededores.
- Damgaard, A. et al., 2010. “*Life-cycle-assessment of the historical development of air pollution control and energy recovery in waste incineration*”. Se ha utilizado el ACV para determinar los impactos de una incineradora de RSU. La UF utilizada fue 1 Tn de RSU incinerados. Se compararon los impactos de una incineradora que utiliza depuración de gases y otra que no utiliza ninguna tecnología de control de emisiones. Los resultados mostraron una reducción significativa en los potenciales impactos ambientales de la primera incineradora de residuos con respecto a la segunda. Por otra parte los resultados de este estudios mostraron que los impactos medioambientales de las incineradora de residuos se han reducido drásticamente en los últimos 35 años y que estos impactos pueden ser total o parcialmente compensados por la recuperación de la energía que de otro modo deberían haberse producido a partir de combustibles fósiles como el carbón o el gas natural.

- Morselli, L. et al., 2008. “*Environmental impacts of waste incineration in a regional system (Emilia Romagna, Italy) evaluated from a life cycle perspective,*”. Se ha estudiado, mediante el ACV, los impactos ambientales de una incineradora de RSU y de un vertedero de residuos en el norte de Italia. Se ha llegado a la conclusión que, para una misma cantidad de residuos, la incineración de RSU debe considerarse ambientalmente preferible que el vertido de los mismos.
- Ning, S. et al., 2013. “*Comparative streamlined life cycle assessment for two types of municipal solid waste incinerator*”. Este estudio es un ACV para comparar los impactos ambientales de dos tipos de incineradores de RSU, que utilizan hornos de lecho fluidizado y de parrillas. Una tonelada de RSU fue elegido como la UF. En general, el incinerador de lecho fluidizado se considera ambientalmente benigno. En cuanto a la salud humana, la integridad de los ecosistemas y los recursos, el impacto ambiental asociado a la salud humana es el más crítico para ambos tipos de incineradores. Este hallazgo se evidencia por ambos métodos de evaluación, Eco-indicator 99 y ReCiPe, aunque los dos métodos no son compatibles. Otras observaciones también ayudaron a identificar dos parámetros sensibles, entre ellos el dióxido de carbono (CO₂) y el consumo eléctrico a través de las dos tecnologías de incineración. Este estudio ayudó a identificar al menos la opción menos mala para la construcción de incineradores de RSU para cumplir con la sostenibilidad urbana.

6.1.3.2. Unidad Funcional seleccionada

Prácticamente todos los estudios, consultados sobre ACV de incineradoras de residuos, según se desprende del apartado anterior, utilizan 1 Tn de residuos incinerados como UF. Además es fácilmente medible, porque el horno se alimenta de RSU mediante grúas provistas de un peso electrónico.

Por todo lo expuesto proponemos 1 Tn de RSU incinerados como la UF durante la evaluación del CV objeto de estudio. Presenta una medida cuantificada de actuación

que servirá de base para la comparación de los impactos ambientales de cada uno de los procesos que intervienen en la planta incineradora.

Para darle una mejor comprensión a los potenciales impactos ambientales podemos considerar que la UF de 1 Tn de residuos incinerados corresponde aproximadamente a la generación media anual de RSU por dos personas en España [OECD, 2002].

La evaluación de los impactos ambientales de la incineradora de RSU se ha realizado para la producción eléctrica de 1kWh. Por lo tanto en los cálculos de este trabajo, se han dividido los procesos por la producción eléctrica relativa a la UF.

6.1.4. Descripción del sistema

La definición de los límites del sistema incluye como entradas los residuos admitidos en la planta, el agua, los reactivos, los materiales auxiliares, el consumo de energía de las diferentes secciones, los materiales utilizados para la construcción de obras civiles y equipos electromecánicos, y suelo industrial ocupado. Como salidas, todos los productos que emanan del proceso de incineración se analizan: el aire, el agua y emisión del suelo, residuos sólidos (tales como las cenizas de fondo de la caldera y las cenizas volantes de la depuración de gases) (Figura 6.1).

Todas las fases del proceso de incineración consideradas dentro del límite del sistema se incluyen en la Figura 6.1. Las entradas y salidas de materiales y de energía se incluyen; teniendo en cuenta también el edificio.

Las operaciones de recogida de residuos (y sus impactos medioambientales) no están incluidos en este estudio, ya que estas consideraciones llevarían más allá de los objetivos fijados. Se incluirán los impactos ambientales producidos por el transporte de los residuos a la planta incineradora.

Se considerarán los impactos generados por el tratamiento de residuos incluyendo la cantidad de escoria recuperada, y el proceso de estabilización de las cenizas de la caldera y cenizas volantes antes de que se dispongan en rellenos sanitarios.

De acuerdo con la suposición de carga cero, se considera que los residuos no contienen los créditos relacionados con los impactos generados durante las etapas anteriores de su ciclo de vida [Mcdougall, F. et al., 2001].

Otra suposición se relaciona con el enfoque de cargas evitadas, que se aplica a la energía. Como los residuos incinerados permiten la producción de energía eléctrica, esto puede en alguna manera ahorrar electricidad generada por métodos tradicionales. El aumento de la recuperación del valor energético de los residuos reemplaza la necesidad de la generación externa de esta energía, lo que resulta tanto un ahorro de los recursos como evitar las emisiones y los consumos de la planta de generación de energía externa evitada [EUROPEAN COMMISSION, 2005].

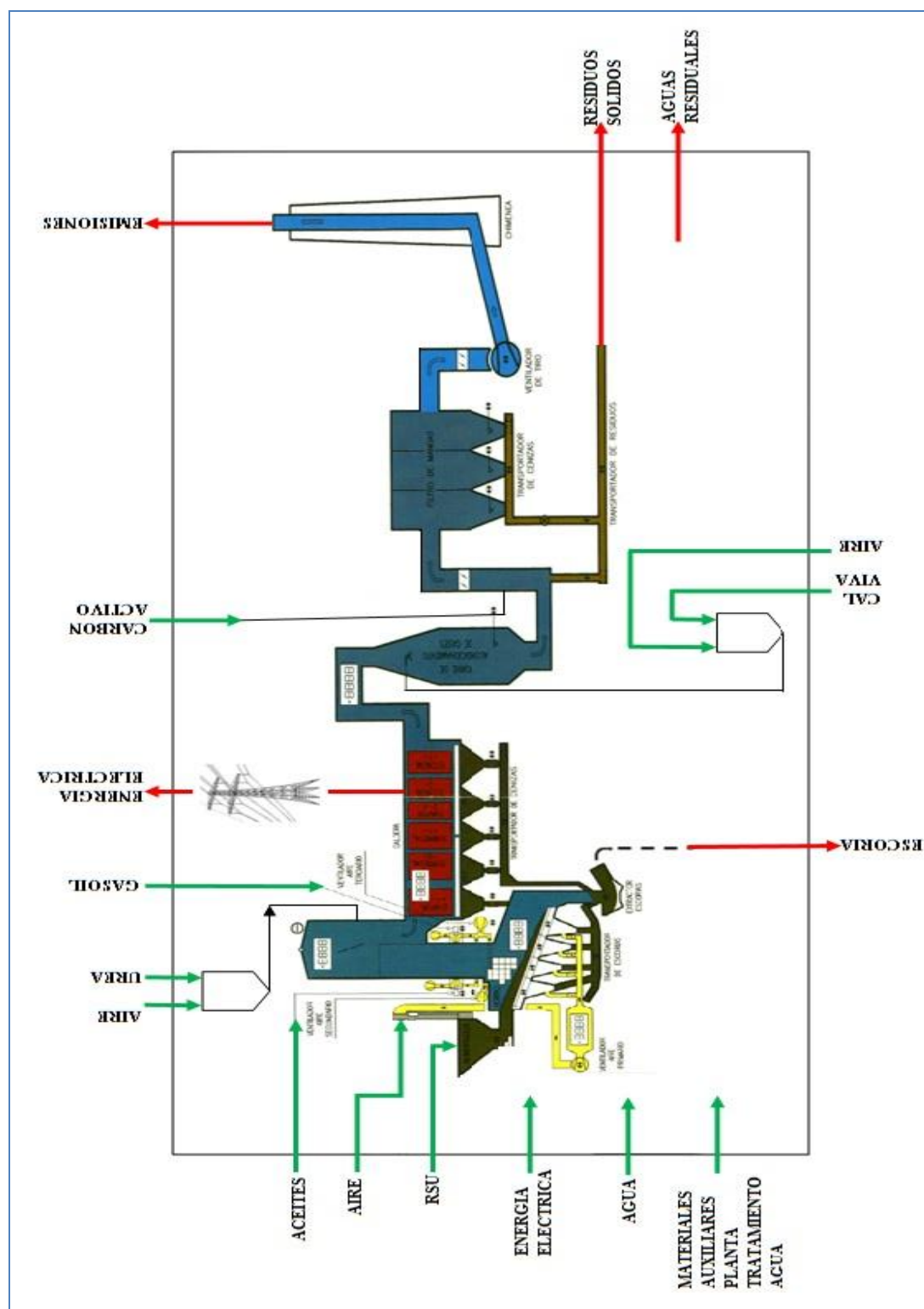


Figura 6.1 Límites del sistema de incineración. Fuente: Elaboración propia

6.2. Análisis del inventario

El análisis del inventario es, sin duda, la fase más delicada del estudio, ya que requiere la recolección de datos como sea posible a fin de crear un modelo muy preciso del sistema objeto de estudio. Para este propósito, fue necesario construir primero un diagrama de bloques del proceso de incineración instalado (Figura 6.2); con este diagrama se analizaron cada una de las fases pertinentes de todos los procesos implicados en el ciclo de vida de la incineración de RSU.

La recolección de datos es la identificación y cuantificación de las entradas y salidas pertinente para cada proceso unitario de un sistema de producto específico. Los datos para cada proceso unitario dentro de los límites a menudo incluyen la energía, materias primas, productos, coproductos y emisiones al aire, agua y suelo. El ICV, entonces consiste en determinar el consumo de materia y que proceso industrial es necesario para completar este proceso unitario. Típicamente, los datos para cada unidad de proceso en un sistema de producto o bien se suministran directamente desde la industria o del uso de un BBDD, tales como Ecoinvent. Estas BBDD proporcionan datos industriales del suministro de energía, extracción de recursos, el suministro de materiales, productos químicos, metales, agricultura, servicios de gestión de residuos y servicios de transporte para una variedad de procesos unitarios genéricos que permiten el desarrollo de sistemas de productos complejos. En esta Tesis se utiliza la BBDD de Ecoinvent 3.0, los facilitados por la empresa colaboradora “EMPRESA 1” y los datos de campo recopilados, para desarrollar las estimaciones de materia prima, energía y emisiones para la fabricación, el uso y el fin de vida de cada etapa de la instalación que nos ocupa. Típicamente, los procesos de una unidad de producto se simplifican y se agrupan en cinco etapas principales. Éstas incluyen la adquisición de recursos primarios, la transformación de materias primas, la fabricación y el montaje, el uso y la fase final de su vida útil. El transporte está incluido en cada fase. Las tres primeras fases del ciclo de vida se agrupan y se discuten en fase de fabricación de cada elemento de la instalación, y lo mismo ocurrirá con el uso y el transporte. Es importante señalar que la fase final de su vida se tienen en cuenta en esta Tesis, trabajando con datos obtenidos de diferentes fuentes. A continuación se describe generalmente las etapas del ciclo de vida.

- *Adquisición de materias primas*: describe la extracción de materias primas de la tierra, tales como aluminio, cobre, mercurio, etc.
- *Procesamiento de materias primas*: implica las actividades que convierten las materias primas en una forma que puede ser utilizado para fabricar un producto terminado.
- *Fabricación y montaje*: En esta etapa se lleva el material fabricado y lo transforma en un producto que está listo para ser empaquetado. Los productos envasados y transportados en camión , tren, avión o buque de carga para instalaciones de distribución donde son transportados a los comercios minoristas o directamente al consumidor. En nuestro caso corresponde a la fabricación y montaje de maquinarias y materiales auxiliares y su transporte hasta la planta de incineración que nos ocupa.
- *Uso*: es la fase donde el consumidor utiliza realmente el producto. Una vez que el producto se distribuye al consumidor, todas las actividades asociadas con la vida útil del producto se incluyen en esta parte. Esto incluye la demanda de energía y los residuos ambientales de almacenamiento del producto, el consumo y el mantenimiento.
- *Fin de vida*: es la fase en la que el consumidor ya no necesita el producto. Incluye los requerimientos de energía y desechos ambientales asociados con la valoración energética del producto o material. La fase final de su vida útil también ofrece la oportunidad para que los productos puedan aportar beneficios ambientales si se reciclan para permitir que se convierta en materia prima ó (materiales auxiliares) de otro sistema productivo.

La solución tecnológica considerada en el presente trabajo está equipada con una depuración de los gases de combustión que se describe detalladamente en el apartado 4.3.3.

En el estudio de ACV se utilizará la base de datos Ecoinvent 3.0 [ECOINVENT, 2015] del software SimaPro 8.0.3 versión 8.0.3.14 , desarrollado por la compañía holandesa PRé Consultans [PRÉ CONSULTANS, 2015]. Este software se utiliza generalmente en los estudios de ACV [Rigamonti, L. et al., 2009], debido a su

fiabilidad, potencialidad interactiva, y la facilidad para cambiar y adaptarse. Además sigue las normas UNE-EN-ISO 14040-44: 2006. Se ha utilizado la base de datos Ecoinvent 3.0 por su capacidad de descripción de manera realista de los procesos considerados y por tratarse de una versión actualizada en el momento de la realización de esta Tesis.

Los productos y materiales utilizados en este ACV se han modelado siguiendo el proyecto original de la instalación proporcionado por la EMPRESA 1, la BBDD de Ecoinvent 3.0 y diferentes artículos y consultando catálogos de fabricantes. Con el conjunto de la información recopilada se realizó un inventario que nos sirvió de base para crearlo en el software utilizado en esta tesis. A continuación detallaremos los materiales y procesos utilizados.

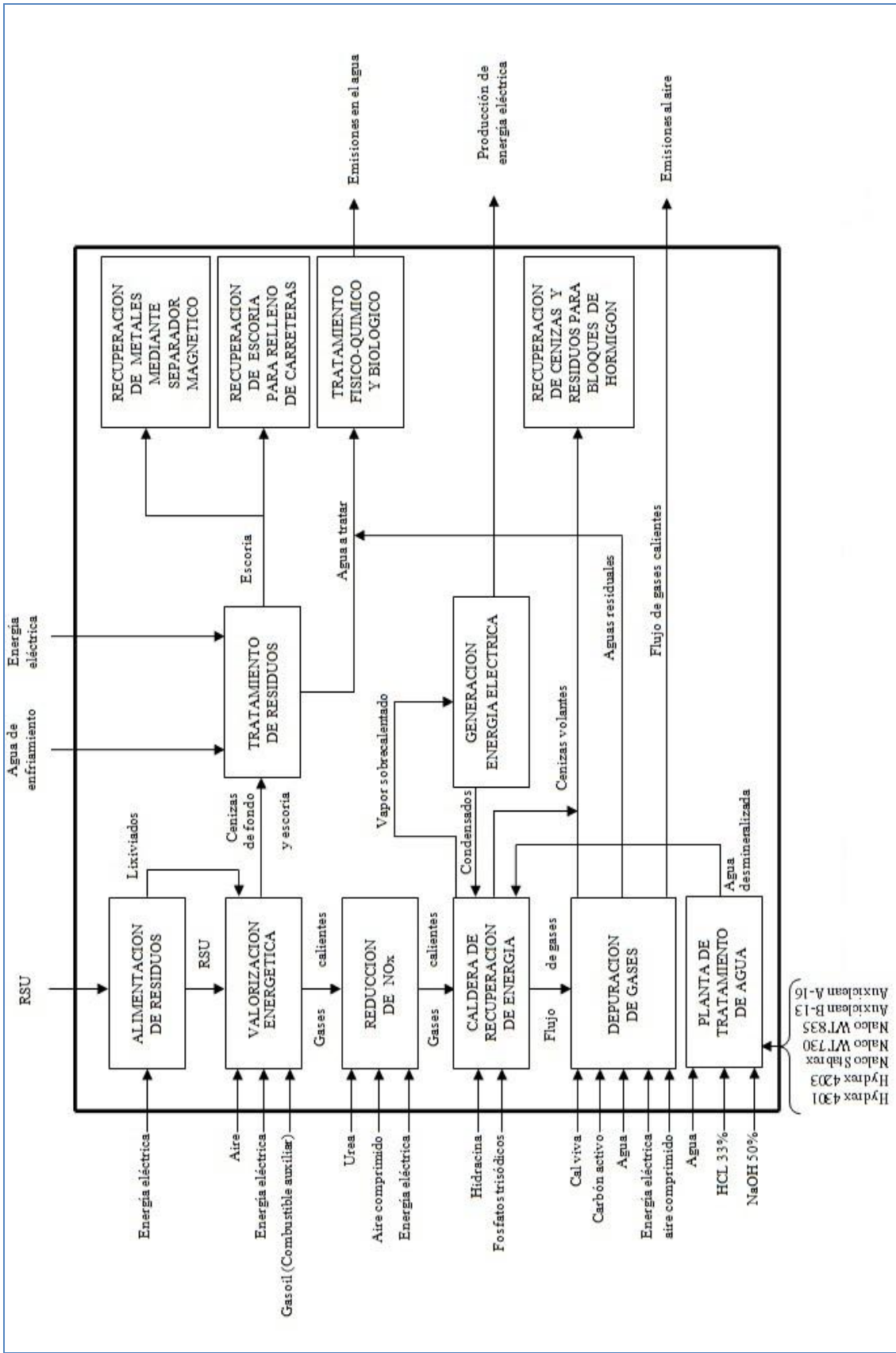


Figura 6.2 Diagrama de bloques de los procesos de la línea de incineración. Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de flujo representado en la Figura 6.2 muestra las entradas y salidas de los flujos de materia y energía. Estos fueron recogidos para todas las secciones y sub-procesos de la línea en materia de balance de masa y energía así como para el proceso como un todo. A partir de su diagrama de flujo el proceso de incineración se subdividió en una serie de sub-procesos, que fueron analizados individualmente con el fin de identificar sus entradas y salidas.

En la Figura 6.3 se representa de una manera global pero muy similar a la anterior los flujos de materias y energía del proceso de incineración, ilustrando esquemáticamente la metodología aplicada en el ACV.

Todas las operaciones de recogida de residuos (y sus impactos medioambientales) no están incluidos en este estudio, ya que estas consideraciones llevarían más allá de los objetivos fijados. Sin embargo sí se tendrán en cuenta los impactos derivados del transporte de los residuos a la planta de incineración. Se estima²⁷ que el recorrido medio de 1 tonelada de residuos desde su recogida por un camión de basura hasta la planta de valorización es de 5 Km.

²⁷ Esta estimación se ha realizado en base a consultas a distintos conductores de camiones. Corresponde al trayecto de ida y vuelta de un camión.

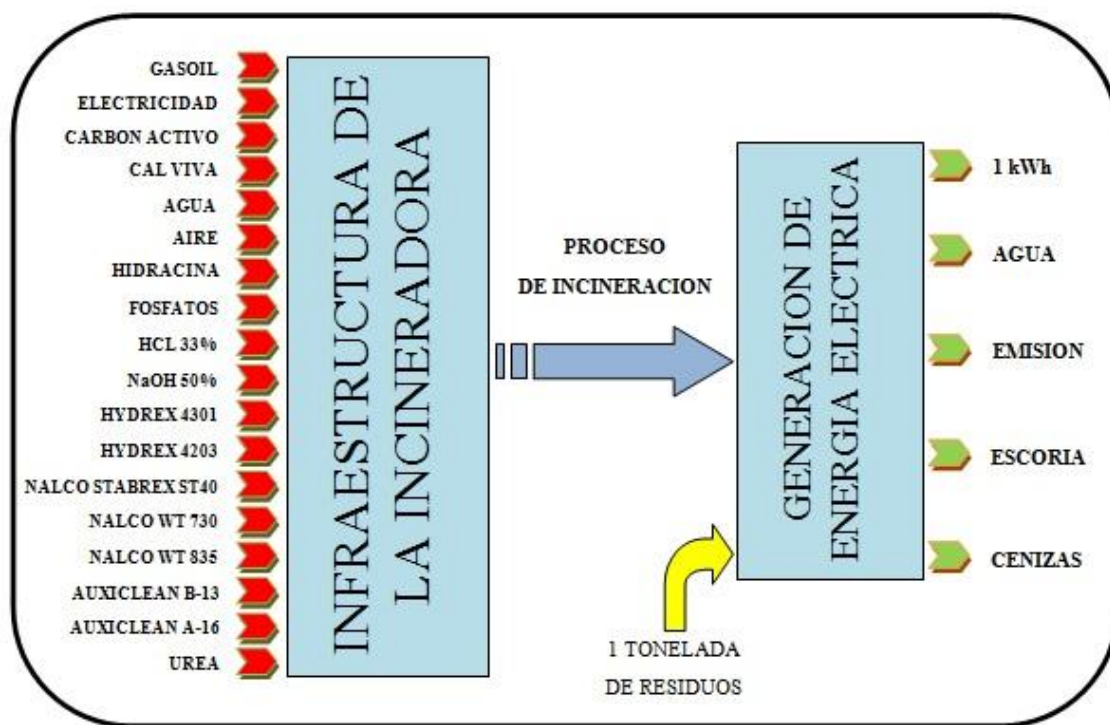


Figura 6.3 Esquema global de flujos. Fuentes: Elaboración propia

6.3. Evaluación de la instalación de incineración de RSU

En este caso se realiza el estudio de la cuna a la puerta. A continuación se realizará una descripción de las instalaciones que componen cada proceso para determinar su impacto ambiental desde su concepción hasta su disposición final. Para tener mayor conocimiento sobre los procesos descritos en este apartado dirigirse al Capítulo 4 donde se ha hecho una descripción detallada de la instalación objeto de estudio.

En el inventario del ACV se introduce el lugar de fabricación de los procesos para determinar, por una parte, el impacto ambiental de su transporte hasta la planta de valorización energética objeto de estudio, y por otra parte, el sistema eléctrico utilizado para la producción de dichos procesos.

6.3.1 Alimentación de residuos

En esta máquina se alimenta el horno con RSU. Contiene a su vez los siguientes elementos (Tablas 6.1 y 6.2):

- Alimentador
- Central hidráulica parrillas/alimentador
- Puente Grúa
- Pulpos
- Cizalla

Estos elementos corresponden a los flujos de datos introducidos para el montaje de la “alimentación de residuos” (Tabla 6.1).

| PRODUCTOS/CANTIDAD | MATRIALES | COMPONENTES | DIMENSION | CANTIDAD | Ud. |
|--|--------------------|--------------------------------|------------|-----------|----------------|
| ALIMENTADOR/1 | Peso | | | 10.500,00 | kg |
| MECMAN INDUSTRIAL, S.L. | Consumo eléctrico | | | 0,02 | kWh/Tn RSU |
| Avda. Principal, 41 Pol. Ind. "Can Clapers" | | | | | |
| 08181 SENTMENAT (Barcelona) | | | | | |
| CENTRAL HIDRAULICA PARRILLAS/ALIMENTADOR/1 | Peso | | | 1.050,00 | kg |
| REXROTH | Consumo eléctrico | | | 0,45 | kWh/Tn RSU |
| Maria-Theresien-Str. 23 | Aceite Hidráulico: | | | 124,12 | kg |
| 97816 Lohr am Main, Deutschland | | | | | |
| GRUA PUENTE/2 | | Motor elevación 35 CV | | 1,00 | Ud. |
| De 13,3 m de 3 tns | | Acoplamiento | | 1,00 | Ud. |
| Marca JASO. Guipuzcoa. España. | | Frenos | | 1,00 | Ud. |
| | | Reductora 14,4 | | 1,00 | Ud. |
| | | Engranes | | 2,00 | Uds |
| | | Ejes piñón | | 2,00 | Uds |
| | | Ejes | | 2,00 | Uds |
| | | Virola tambor y tapas | | 1,00 | Ud |
| | | Poleas | | 6,00 | Uds |
| | | Cable | 115 m | 4,00 | Uds |
| | | Tuerca | | 15,00 | Uds |
| | | Traviesa | | 1,00 | Ud |
| | | Gancho | | 1,00 | Ud |
| | | Motor traslación carro 0,8 CV | | 1,00 | Ud |
| | | reductor | | 1,00 | Ud |
| | | Ruedas | | 4,00 | Uds |
| | | Ejes ruedas | | 2,00 | Uds |
| | | Motor traslación puente 1,1 CV | | 1,00 | Ud |
| | | Reductor | | 1,00 | Ud |
| | | Ruedas | | 4,00 | Uds |
| | | Ejes de ruedas | | 2,00 | Uds |
| | | Testeros puente y carro | | 2,00 | Uds |
| | | Vigas cajón principal | | 4,00 | Uds |
| | Consumo eléctrico | | | 2,28 | kWh/Tn RSU |
| PULPOS/2 | Capacidad | | | 2,00 | m ³ |
| Tipo: Ps-2000/0,7 | Peso | | | 1.600,00 | kg |
| Nº.: 6,612-1y2/95 | Central Hidráulica | Motor potencia | 1500 R.P.M | 15,00 | CV |
| Fecha fabricación: 15/01/1995 | | Motor voltaje | 380 V | 50,00 | Hz |
| Fabricante: Credeblug SL – C/ Juan XXIII, 9 | Aceite Hidráulico: | voltaje de maniobra | 110 V | 50,00 | Hz |
| – 20.730 – Azpeitia (Gipuzkoa) | | Caudal de la bomba | | 27,00 | l/min |
| – (+34) 943 810 150 – blug@blug.es | Hidraulic HLP-46 | Presión de trabajo | | 160,00 | bar |
| | | Consumo en amperes | | 22,00 | A |
| | | Capacidad de aceite: | | 125,00 | l |
| | Consumo eléctrico: | | | 0,93 | kWh/Tn RSU |

Tabla 6.1 Alimentación de RSU. Fuente: Elaboración propia (datos facilitador por la EMPRESA 1)

| PRODUCTOS/CANTIDAD | MATERIALES | DIMENSION | Ud. |
|--|-------------------|-----------|------------|
| CIZALLA MODELO: CHZ-420 MAQUINARIA E HIDRÁULICA JOVISA, S.L. Avda. Fco. Vitoria Laporta, s/nº 03830 MURO DEL ALCOY (Alicante). España | Peso | 5.200,00 | kg |
| | Consumo eléctrico | 0,45 | kWh/Tn RSU |
| | | | |
| | | | |

Tabla 6.2 Tratamiento de residuos voluminosos. Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1)

En la Figura 6.4 se representa el perfil medioambiental del elemento de alimentación de residuos definido al principio de este apartado. Destacamos las etapas que más contribuyen a los problemas ambientales generados durante el montaje de dicho proceso.

El componente que más influye en el medioambiente, corresponde al alimentador, sobre todo en la categoría de agotamiento de recursos. Esto es debido a la gran cantidad de acero necesaria para su fabricación con respecto a los demás elementos. A continuación le sigue el puente grúa, que además del acero utiliza aceites sintéticos para el funcionamiento de los pulpos de elevación y alimentación de residuos en el horno.

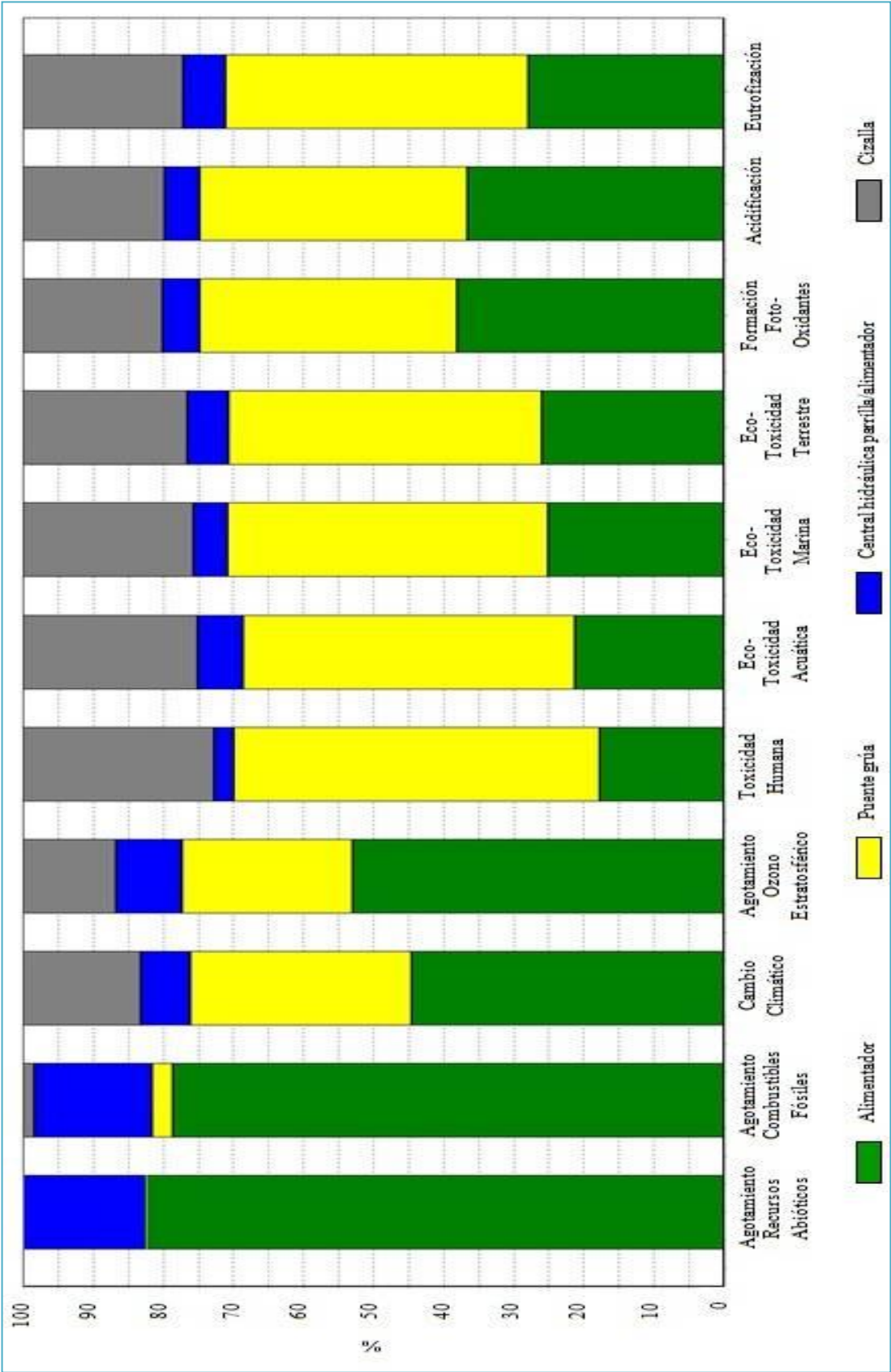


Figura 6.4 Caracterización impactos alimentación de residuos. Fuente: Elaboración proia

| CATEGORIA DE IMPACTO | UNIDAD | TOTAL | Alimentador | Puente Grúa | Central hidra. alimentador parrilla | Cizalla |
|------------------------------------|--------------------------------------|----------|-------------|-------------|-------------------------------------|----------|
| Agotamiento recursos Abióticos | kg Sb eq. | 2,31E-03 | 1,90E-03 | 0,00E+00 | 4,07E-04 | 0,00E+00 |
| Agotamiento combustibles Abióticos | MJ | 8,58E+04 | 6,75E+04 | 2,58E+03 | 1,44E+04 | 1,41E+03 |
| Cambio climático | kg CO ₂ eq. | 6,55E+04 | 2,91E+04 | 2,07E+04 | 4,70E+03 | 1,10E+04 |
| Agotamiento ozono | kg CFC-11 eq | 4,73E-03 | 2,50E-03 | 1,15E-03 | 4,47E-04 | 6,29E-04 |
| Toxicidad humana | kg 1,4-DB eq. | 1,24E+05 | 2,20E+04 | 6,49E+04 | 3,58E+03 | 3,39E+04 |
| Eco-toxicidad acuática | kg 1,4-DB eq. | 1,67E+04 | 3,55E+03 | 7,90E+03 | 1,07E+03 | 4,16E+03 |
| Eco-toxicidad marina | kg 1,4-DB eq. | 7,73E+07 | 1,94E+07 | 3,53E+07 | 3,83E+06 | 1,88E+07 |
| Eco-toxicidad terrestre | kg 1,4-DB eq. | 1,55E+02 | 4,01E+01 | 6,92E+01 | 8,98E+00 | 3,63E+01 |
| Formación foto-oxidantes | kg C ₂ H ₄ eq. | 2,79E+01 | 1,06E+01 | 1,02E+01 | 1,49E+00 | 5,55E+00 |
| Acidificación | kg SO ₂ eq. | 2,70E+02 | 9,89E+01 | 1,03E+02 | 1,36E+01 | 5,47E+01 |
| Eutrofización | kg PO ₄ --- eq. | 1,58E+02 | 4,41E+01 | 6,81E+01 | 9,58E+00 | 3,61E+01 |

Tabla 6.3 Caracterización impactos "alimentación de residuos". Fuente: Elaboración propia

6.3.2 Valorización energética

En esta máquina se produce la quema de los RSU. La valorización energética contiene los siguientes elementos (Tablas 6.4 y 6.5):

- Horno
- Ventilador aire primario
- Ventilador aire secundario
- Ventilador aire terciario
- Tolvas
- Tanque de aceites usados
- Tanque de gasoil
- Bombas trasiego aceites
- Bombas lanza de aceites
- Quemador de gasoil
- Quemador de aceites

| PRODUCTOS/CANTIDAD | MATERIALES | DIMENSION | CANTIDAD | Ud. |
|--|--------------------|-----------|-----------|-------------------|
| HORNO | Potencia | | 10.890,00 | kW |
| Fabricante: TERMISA. Barcelona | De parrillas | | | |
| VENTILADOR AIRE PRIMARIO/1 | Caudal nominal | | 14.600,00 | m ³ /h |
| Centrifugo. Tipo: H2 | Caudal de trabajo | | 2.748,31 | kg/Tn RSU |
| Tamaño: 96.1,14D-"D" | Conducto admisión | DN 500 | 25,00 | m |
| Orientación: GD-360 B | Conducto impulsión | 624x276 | 30,00 | m |
| Nº fabricación: 27.879 | Campana aspiración | DN 500 | 1,00 | Ud. |
| Motor: ABB TIPO MBT-225 S4 IP-55 | Central control | | 1,00 | Ud. |
| de 37 kw a 1.480 R.P.M. | Filtro air | | 1,00 | Ud. |
| Nº fabricación: AC-6016014-6441 | Codo 90° | 624x276 | 4,00 | Ud. |
| Tensión: 380/660 voltios | Consumo eléctrico | | 2,15 | kWh/Tn RSU |
| Fabricado en Vizcaya. España. | | | | |
| VENTILADOR AIRE SECUNDARIO/1 | Caudal nominal | | 4.600,00 | m ³ /h |
| Centrifugo. Tipo: H2 | Caudal de trabajo | | 302,96 | kg/ Tn RSU |
| Tamaño: 53.1,14D-"D" | Conducto admisión | DN 320 | 10,00 | m |
| Orientación: GD-270° | Conducto impulsión | 346X152 | 5,00 | m |
| Nº fabricación: 27.880 | Campana aspiración | DN 320 | 1,00 | Ud. |
| Motor: ABB | Central control | | 1,00 | Ud. |
| de 18,5 kw a 2.925 R.P.M. | Filtro air | | 1,00 | Ud. |
| Nº fabricación: AC-6016003-D440 | Codo 90° | 346X152 | 2,00 | Ud. |
| Tensión: 380/660 voltios | Silenciador | DN 320 | 1,00 | Ud. |
| Fabricado en Vizcaya. España. | Consumo eléctrico | | 0,84 | kWh/Tn RSU |
| VENTILADOR AIRE TERCARIO/1 | Caudal nominal | | 7.100,00 | m ³ /h |
| Centrifugo. Tipo: H5-PC300-12P | Caudal de trabajo | | 367,88 | kg/ Tn RSU |
| Tamaño: 48.1,08D-"D" | Conducto admisión | DN 400 | 1,00 | m |
| Orientación: GD-360° | Conducto impulsión | 378X292 | 10,00 | m |
| Nº fabricación: 27.881 | Campana aspiración | DN 400 | 1,00 | Ud. |
| Motor: ABB Tipo: MBT-160 M2 IP-55 | Central control | | 1,00 | Ud. |
| de 15 kw a 3.925 R.P.M. | Filtro air | | 1,00 | Ud. |
| Nº fabricación: AC-6016002-D440 | Codo 90° | 378X292 | 2,00 | Ud. |
| Tensión: 380/660 voltios | Silenciador | DN 400 | 1,00 | Ud. |
| Fabricado en Vizcaya. España. | Consumo eléctrico | | 1,17 | kWh/Tn RSU |

Tabla 6.4 Horno incinerador. Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1)

| PRODUCTOS/CANTIDAD | MATERIALES | CANTIDAD | Ud. |
|---|--------------------------|-----------|--------------------|
| TOLVAS/4 Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | Volumen | 3 | m ³ |
| | Acero. Peso | 148 | kg |
| | Aislamiento lana de roca | 5 | m |
| TANQUE DE ACEITES/2 Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | Capacidad | 15,00 | m ³ |
| | Acero | | |
| TANQUE DE GASOIL Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | Capacidad | 3,00 | m ³ |
| | Acero | | |
| BOMBAS DE TRASIEGO DE ACEITES/2 Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | Presión | 5,00 | bar |
| | Potencia eléctrica | 3,50 | kW |
| BOMBAS DE LANZA DE ACEITES/2 Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | Presión | 2,00 | bar |
| | Potencia eléctrica | 1,50 | kW |
| BOMBAS DE GASOIL/2 Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | Presión | 5,00 | bar |
| | Potencia eléctrica | 3,50 | kW |
| QUEMADOR DE GASOIL Fabricante: TERMISA. Barcelona | Potencia térmica | 3.450,00 | kW |
| | Regulación de consumo | 50-300 | kg/h |
| QUEMADOR DE ACEITES Fabricante: TERMISA. Barcelona | Potencia térmica | 3.450,00 | kW |
| | Regulación de consumo | 65-370 | kg/h |
| PRECALENTADOR DE AIRE Fabricante: TERMISA. Barcelona | Caudal de aire | 13.000,00 | Nm ³ /h |
| | Fluido calefactor: | | |

Tabla 6.5 Equipos auxiliares del horno incinerador. Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1)

En las Figuras 6.5 y 6.6 se muestran los impactos ambientales del proceso denominado valorización energética que diferencia entre los elementos que intervienen y detalla los valores de impacto de cada uno de ellos. Se puede apreciar las contribuciones relativas a la carga ambiental en porcentajes de los diferentes componentes, distinguiendo entre los procesos más influyentes.

En este caso se puede ver el claro dominio del horno en esta sección en todas las categorías de impacto, sobre todo debido a su robustez con respecto a los elementos que componen esta sección. Por lo tanto y dado que el horno es un elemento vital de la

instalación hay que hacer hincapié, a la hora de su diseño, en los componentes de su fabricación para elegir aquellos que emitan menos en su respectiva concepción.

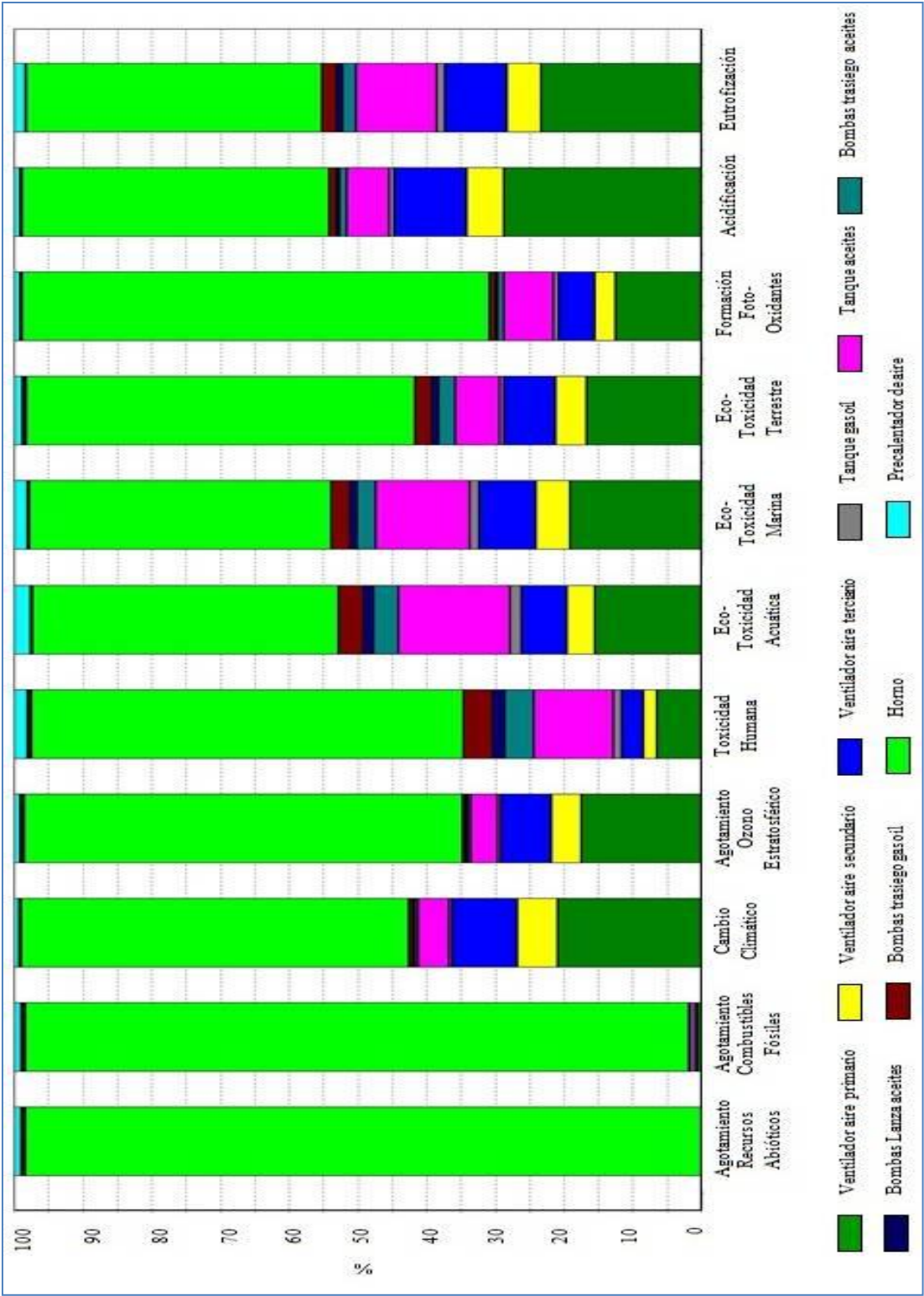


Figura 6.5 Caracterización impactos del proceso de valorización energética. Fuente: Elaboración propia

| CATEGORÍA DE IMPACTO | UNIDAD | TOTAL | Ventilador aire primario | Ventilador aire secundario | Ventilador aire terciario | Tanque de gasoil | Tanque de aceites | Bombas trasego aceites | Bombas lanza aceites | Bombas de gasoil | Horno | Quemador de gasoil | Quemador de aceites | Pre calentador de aire |
|---------------------------------------|--------------------------------------|----------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------|----------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Agotamiento recursos Abióticos | kg Sb eq. | 6,40E-03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 6,29E-03 | 1,97E-05 | 1,97E-05 | 6,90E-05 |
| Agotamiento combustibles Abióticos | MJ | 2,37E-05 | 1,56E-03 | 3,35E-02 | 6,12E-02 | 1,20E-02 | 1,20E-03 | 1,37E-02 | 5,86E-01 | 1,37E-02 | 2,29E-05 | 6,97E-02 | 6,97E-02 | 2,50E-03 |
| Cambio climático | kg CO ₂ eq. | 2,17E-05 | 4,53E-04 | 1,26E+04 | 2,05E+04 | 9,78E-02 | 9,78E-03 | 1,22E+03 | 5,23E-02 | 1,22E-03 | 1,22E-05 | 4,28E+02 | 4,28E+02 | 1,58E-03 |
| Agotamiento ozono | kg CFC-11 eq. | 1,32E-02 | 2,31E-03 | 5,70E-04 | 9,76E-04 | 5,26E-05 | 5,26E-04 | 6,21E-05 | 2,66E-05 | 6,21E-05 | 8,43E-03 | 4,36E-05 | 4,36E-05 | 1,17E-04 |
| Toxicidad humana | kg 1,4-DB eq. | 3,49E-05 | 2,27E-04 | 6,96E+03 | 1,09E+04 | 4,06E-03 | 4,06E-04 | 1,45E+04 | 6,23E+03 | 1,45E-04 | 2,19E-05 | 1,21E+03 | 1,21E+03 | 6,63E-03 |
| Eco-toxicidad acuática | kg 1,4-DB eq. | 4,42E-04 | 6,88E-03 | 1,74E-03 | 2,95E+03 | 7,19E-02 | 7,19E-03 | 1,58E+03 | 6,78E-02 | 1,58E-03 | 1,97E-04 | 7,41E-01 | 7,41E-01 | 1,03E-03 |
| Eco-toxicidad marina | kg 1,4-DB eq. | 2,37E-08 | 4,52E-07 | 1,17E+07 | 1,96E+07 | 3,24E-06 | 3,24E-07 | 6,41E+06 | 2,75E+06 | 6,41E-06 | 1,04E-08 | 2,92E+05 | 2,92E+05 | 4,63E-06 |
| Eco-toxicidad terrestre | kg 1,4-DB eq. | 4,88E-02 | 8,15E-01 | 2,22E+01 | 3,65E+01 | 3,10E-00 | 3,10E-01 | 1,18E+01 | 5,04E+00 | 1,18E-01 | 2,76E-02 | 1,40E+00 | 1,40E+00 | 5,92E-00 |
| Formación foto-oxidantes | kg C ₂ H ₄ eq. | 7,60E-01 | 9,48E+00 | 2,31E+00 | 3,98E+00 | 5,46E-01 | 5,46E-00 | 6,67E-01 | 2,86E-01 | 6,67E-01 | 5,16E-01 | 1,08E-01 | 1,08E-01 | 7,30E-01 |
| Acidificación | kg SO ₂ eq. | 1,06E-03 | 3,05E-02 | 5,74E-01 | 1,12E+02 | 6,59E-00 | 6,59E-01 | 1,16E+01 | 4,96E+00 | 1,16E-01 | 4,73E-02 | 1,47E+00 | 1,47E+00 | 1,00E-01 |
| Eutrofización | kg PO ₄ ---eq. | 4,69E-02 | 1,10E-02 | 2,30E-01 | 4,25E-01 | 5,50E-00 | 5,50E-01 | 9,46E+00 | 4,05E+00 | 9,46E-00 | 2,02E-02 | 5,12E-01 | 5,12E-01 | 7,46E-00 |

Tabla 6.6 Caracterización impactos "valorización energética". Fuente: Elaboración

propia

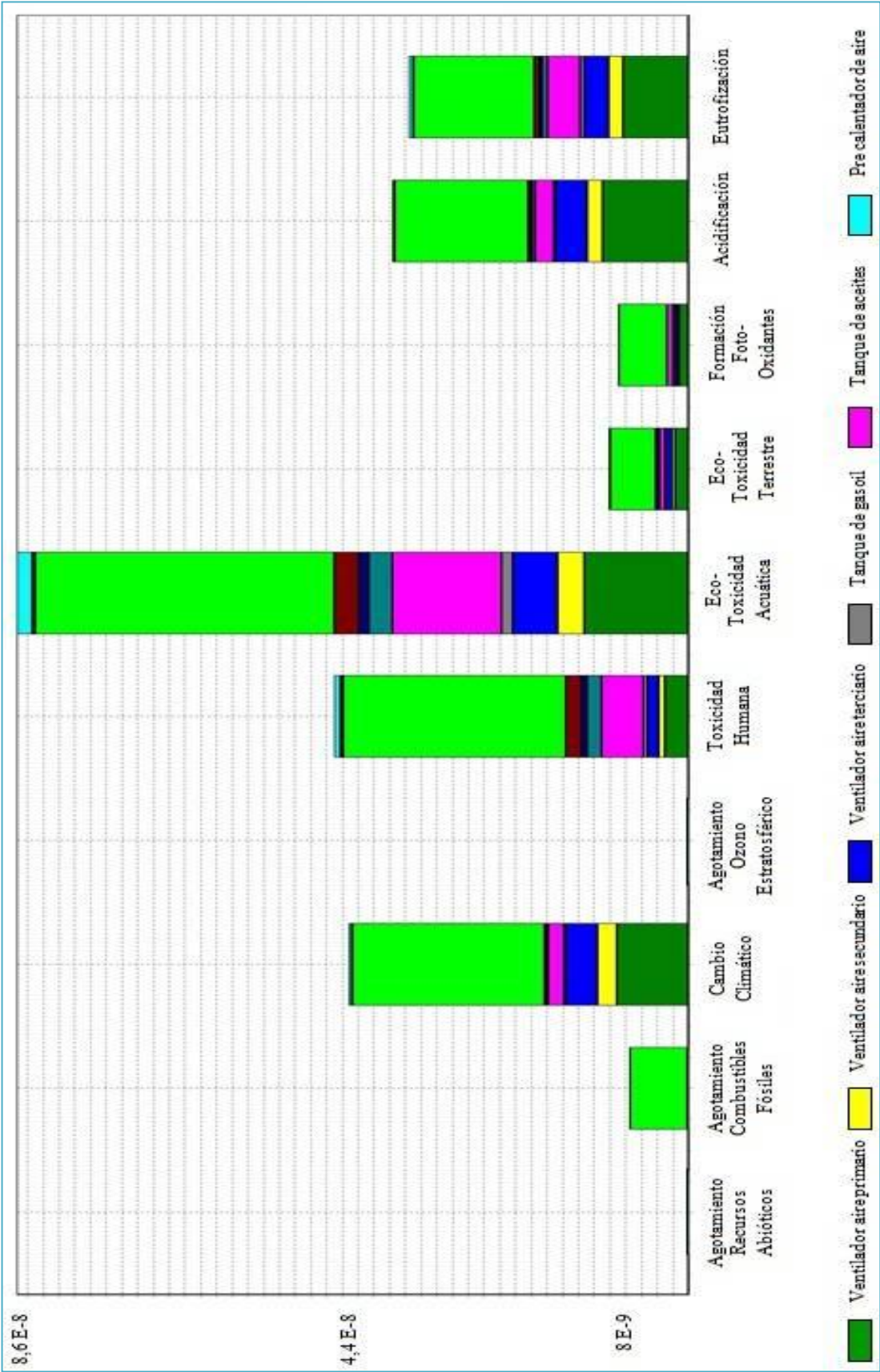


Figura 6.6 Normalización impactos valorización energetica. Fuente: Elaboración propia

| CATEGORIA DE IMPACTO | TOTAL | Ventilador aire primario | Ventilador aire secundario | Ventilador aire terciario | Tanque de gasoil | Tanque de aceites | Bombas trasiego aceites | Bombas lanza aceites | Bombas de gasoil | Horno | Quemador de gasoil | Quemador de aceites | Pre calentador de aire |
|------------------------------------|----------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------|----------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Agotamiento recursos Abióticos | 7,55E-11 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 7,42E-11 | 2,33E-13 | 2,33E-13 | 8,14E-13 |
| Agotamiento combustibles Abióticos | 7,52E-09 | 4,95E-11 | 1,07E-11 | 1,95E-11 | 3,82E-12 | 3,82E-11 | 4,35E-12 | 1,86E-12 | 4,35E-12 | 7,27E-09 | 2,22E-11 | 2,22E-11 | 7,94E-11 |
| Cambio climático | 4,31E-08 | 9,02E-09 | 2,51E-09 | 4,08E-09 | 1,95E-10 | 1,95E-09 | 2,43E-10 | 1,04E-10 | 2,43E-10 | 2,43E-08 | 8,52E-11 | 8,52E-11 | 3,14E-10 |
| Agotamiento ozono | 1,48E-10 | 2,59E-11 | 6,38E-12 | 1,09E-11 | 5,89E-13 | 5,89E-12 | 6,96E-13 | 2,98E-13 | 6,96E-13 | 9,44E-11 | 4,88E-13 | 4,88E-13 | 1,31E-12 |
| Toxicidad humana | 4,50E-08 | 2,92E-09 | 8,98E-10 | 1,41E-09 | 5,24E-10 | 5,24E-09 | 1,87E-09 | 8,03E-10 | 1,87E-09 | 2,83E-08 | 1,56E-10 | 1,56E-10 | 8,56E-10 |
| Eco-toxicidad acuática | 8,53E-08 | 1,33E-08 | 3,36E-09 | 5,69E-09 | 1,39E-09 | 1,39E-08 | 3,05E-09 | 1,31E-09 | 3,05E-09 | 3,81E-08 | 1,43E-10 | 1,43E-10 | 1,99E-09 |
| Eco-toxicidad marina | 2,03E-06 | 3,87E-07 | 9,99E-08 | 1,68E-07 | 2,77E-08 | 2,77E-07 | 5,49E-08 | 2,35E-08 | 5,49E-08 | 8,91E-07 | 2,50E-09 | 2,50E-09 | 3,97E-08 |
| Eco-toxicidad terrestre | 1,01E-08 | 1,68E-09 | 4,58E-10 | 7,51E-10 | 6,40E-11 | 6,40E-10 | 2,42E-10 | 1,04E-10 | 2,42E-10 | 5,69E-09 | 2,88E-11 | 2,88E-11 | 1,22E-10 |
| Formación foto-oxidantes | 8,96E-09 | 1,12E-09 | 2,73E-10 | 4,70E-10 | 6,44E-11 | 6,44E-10 | 7,88E-11 | 3,38E-11 | 7,88E-11 | 6,09E-09 | 1,27E-11 | 1,27E-11 | 8,61E-11 |
| Acidificación | 3,77E-08 | 1,08E-08 | 2,04E-09 | 3,97E-09 | 2,34E-10 | 2,34E-09 | 4,11E-10 | 1,76E-10 | 4,11E-10 | 1,68E-08 | 5,21E-11 | 5,21E-11 | 3,56E-10 |
| Eutrofización | 3,56E-08 | 8,31E-09 | 1,75E-09 | 3,22E-09 | 4,17E-10 | 4,17E-09 | 7,17E-10 | 3,07E-10 | 7,17E-10 | 1,53E-08 | 3,88E-11 | 3,88E-11 | 5,66E-10 |

Tabla 6.8 Normalización impactos valorización energética. Fuente:
Elaboración propia

6.3.3 Tratamiento de residuos

Esta máquina se encarga de tratar las escorias producidas a la salida del horno. Esta parte contiene los siguientes elementos (Tabla 6.9):

- Extractor
- Central hidráulica extractor
- Tratamiento de escoria
- Transportador de cribados

| PRODUCTOS/CANTIDAD | MATERIALES | COMPONENTES | CANTIDAD | Ud. |
|--|----------------------|-------------------|-----------|------------|
| EXTRACTOR MECMAN INDUSTRIAL, S.L. Avda. Principal, 41 Pol. Ind. "Can Clapers" 08181 SENTMENAT (Barcelona) | Peso | | 10.500,00 | kg |
| | Consumo eléctrico | | 0,03 | kWh/Tn RSU |
| | | | | |
| TRANSPORTADOR DE CRIBADOS Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | Recorrido | | 4 | m |
| | | | | |
| | | | | |
| CENTRAL HIDRAULICA EXTRACTOR REXROTH Maria-Theresien-Str. 23 97816 Lohr am Main, Deutschland | Peso | | 1.050,00 | kg |
| | Consumo eléctrico | | 0,45 | kWh/Tn RSU |
| | Aceite Hidráulico: | | 124,12 | kg |
| | | | | |
| TRATAMIENTO DE ESCORIAS MECMAN INDUSTRIAL, S.L. Avda. Principal, 41 Pol. Ind. "Can Clapers" 08181 SENTMENAT (Barcelona) | Banda transportadora | Recorrido | 110,00 | m |
| | de escorias | consumo eléctrico | 0,03 | kWh/Tn RSU |
| | | Velocidad | 0,25 | m/s |
| | | Capacidad | 2,00 | Tn/h |
| | Tambor magnético | | 1,00 | Ud |
| | Criba Vibrante | 1200X2400 mm | 2,00 | Tn/h |

Tabla 6.9 Tratamiento de residuos. Fuente: Elaboración propia.(datos facilitados por la EMPRESA 1)

La escoria y las cenizas de fondo, recogidos a la salida del extractor, se caracterizan por los siguientes materiales:

- Materiales metálicos. Son separados por un electroimán y recuperados para su compactación y su posterior reciclaje como chatarra para su envío a la península.

- Materiales minerales. Se recuperan y analizan en instalaciones adyacentes a la planta para su tratamiento y reutilización como áridos para las obras de construcción y rellenos en carreteras.

Tanto el proceso de reciclaje de metales como el de minerales no se incluyen en el presente estudio porque se encuentran fuera de los límites del sistema del ACV descrito en la Figura 6.2.

En este caso, y como se puede ver en las Figura 6.9, el extractor y el tratamiento de escorias son los elementos más influyentes en el impacto medioambiental, por lo tanto hay que plantearse el hecho de suprimir todo el proceso descrito de tratamiento de residuos y cambiarlo por otro menos aparatoso como puede ser el verter la escoria en un foso aséptico e ir retirándola mediante una grúa.

El transporte de la escoria desde el extracto hasta su almacenamiento se hace mediante cintas de goma muy largas, numerosos soportes metálicos y chapas de protección que cubren toda la cinta a lo largo de todo su recorrido. Estos elementos son los responsables del alto perfil ambiental de esta etapa.

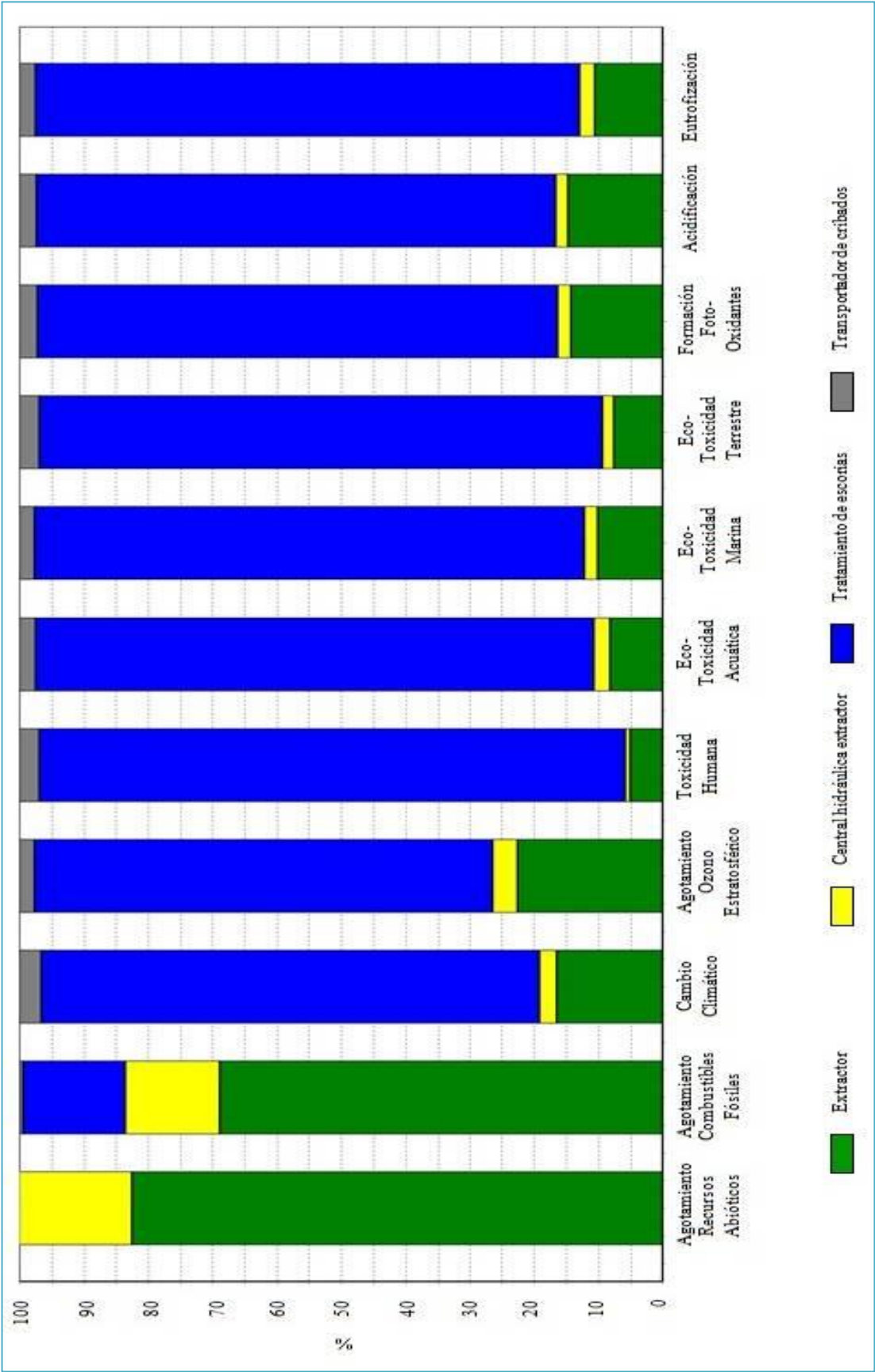


Figura 6.7 Caracterización impactos del “tratamiento de residuos”. Fuente: Elaboración propia

| CATEGORIA DE IMPACTO | UNIDAD | TOTAL | Extractor | Central hidráulica extractor | Tratamiento de escorias | Transportador de cribados |
|------------------------------------|---------------------------------------|----------|-----------|------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Agotamiento recursos Abióticos | kg Sb eq. | 2,31E-03 | 1,90E-03 | 4,07E-04 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Agotamiento combustibles Abióticos | MJ | 9,80E+04 | 6,75E+04 | 1,44E+04 | 1,56E+04 | 5,55E+02 |
| Cambio climático | kg CO ₂ eq. | 1,68E+05 | 2,77E+04 | 4,41E+03 | 1,30E+05 | 5,59E+03 |
| Agotamiento ozono | kg CFC-11 eq. | 1,01E-02 | 2,26E-03 | 3,90E-04 | 7,16E-03 | 2,41E-04 |
| Toxicidad humana | kg 1,4-DB eq. | 4,27E+05 | 2,19E+04 | 3,56E+03 | 3,88E+05 | 1,33E+04 |
| Eco-toxicidad acuática | kg 1,4-DB eq. | 4,25E+04 | 3,51E+03 | 1,07E+03 | 3,69E+04 | 1,04E+03 |
| Eco-toxicidad marina | kg 1,4-DB eq. | 1,88E+08 | 1,91E+07 | 3,82E+06 | 1,61E+08 | 4,35E+06 |
| Eco-toxicidad terrestre | kg 1,4-DB eq. | 5,14E+02 | 3,95E+01 | 8,86E+00 | 4,50E+02 | 1,57E+01 |
| Formación foto-oxidantes | kg C ₂ H ₄ eq. | 7,18E+01 | 1,03E+01 | 1,47E+00 | 5,80E+01 | 2,02E+00 |
| Acidificación | kg SO ₂ eq. | 6,19E+02 | 9,12E+01 | 1,19E+01 | 4,99E+02 | 1,67E+01 |
| Eutrofización | kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq. | 3,96E+02 | 4,20E+01 | 9,24E+00 | 3,35E+02 | 9,88E+00 |

Tabla 6.10 Caracterización impactos “tratamiento de residuos”. Fuente: Elaboración propia

6.3.4 Reducción de los NO_x

Esta parte de la instalación es importante porque se utiliza para la reducción de los NO_x en los gases de emisiones. Este sistema contiene los siguientes elementos (Tabla 6.11):

- Compresores de aire
- Tanques de almacenamiento de aire comprimido
- Bombas de inyección de urea
- Tanque de almacenamiento de urea

| PRODUCTOS/CANTIDAD | MATERIALES | CANTIDAD | Ud. |
|--|--------------------|----------|-------------------|
| COMPRESOR DE UREA/2 | | 15,10 | m ³ |
| Marca:ATLAS COPCO AIRPOWER de tornillo | Presión | 8,00 | bar |
| Tipo: API311142 | Caudal | 182,40 | m ³ /h |
| Fabricado Lleida. España. | Potencia | 21,00 | kW |
| | Peso | 514,00 | kg |
| | Consumo eléctrico | 1,76 | kWh/Tn RSU |
| TANQUE ALMACENAMIENTO AIRE COMPRIMIDO/2 | Capacidad | 2,00 | m ³ |
| Fabricado Lleida. España. | Acero | | |
| BOMBA DE INYECCION DE UREA/2 | Presión | 5,00 | bar |
| Fabricado Lleida. España. | Potencia | 3,50 | kW |
| TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE UREA/2 | Capacidad | 60,00 | m ³ |
| Fabricado Lleida. España. | De fibra de vidrio | | |

Tabla 6.11 Reducción de NOx. Fuente: Elaboración propia.(datos facilitados por la EMPRESA 1)

En los compresores se introducen tanto tuberías como conductos de aire, accesorios e instrumentación, del mismo modo sucede con las bombas de inyección de urea.

En la Figura 6.10 se cuantifican los impactos ambientales del montaje de la “reducción de NOx”. La categoría de agotamiento de recursos abióticos no se ha representado por tener valores muy bajos con respecto a las demás categorías.

En este caso el mayor perfil ambiental corresponde a los tanque de almacenamiento de urea sobretudo en las categorías de agotamiento de combustibles fósiles, en el cambio climático y agotamiento de ozono estratosférico. Esto es debido al material utilizado para la fabricación de estos depósito (fibra de vidrio).

Otro subproceso que presenta mayor perfil ambiental corresponde los compresores de aire utilizados para la inyección de urea. Debido al aceite sintético que utilizan estas maquinarias para su uso.

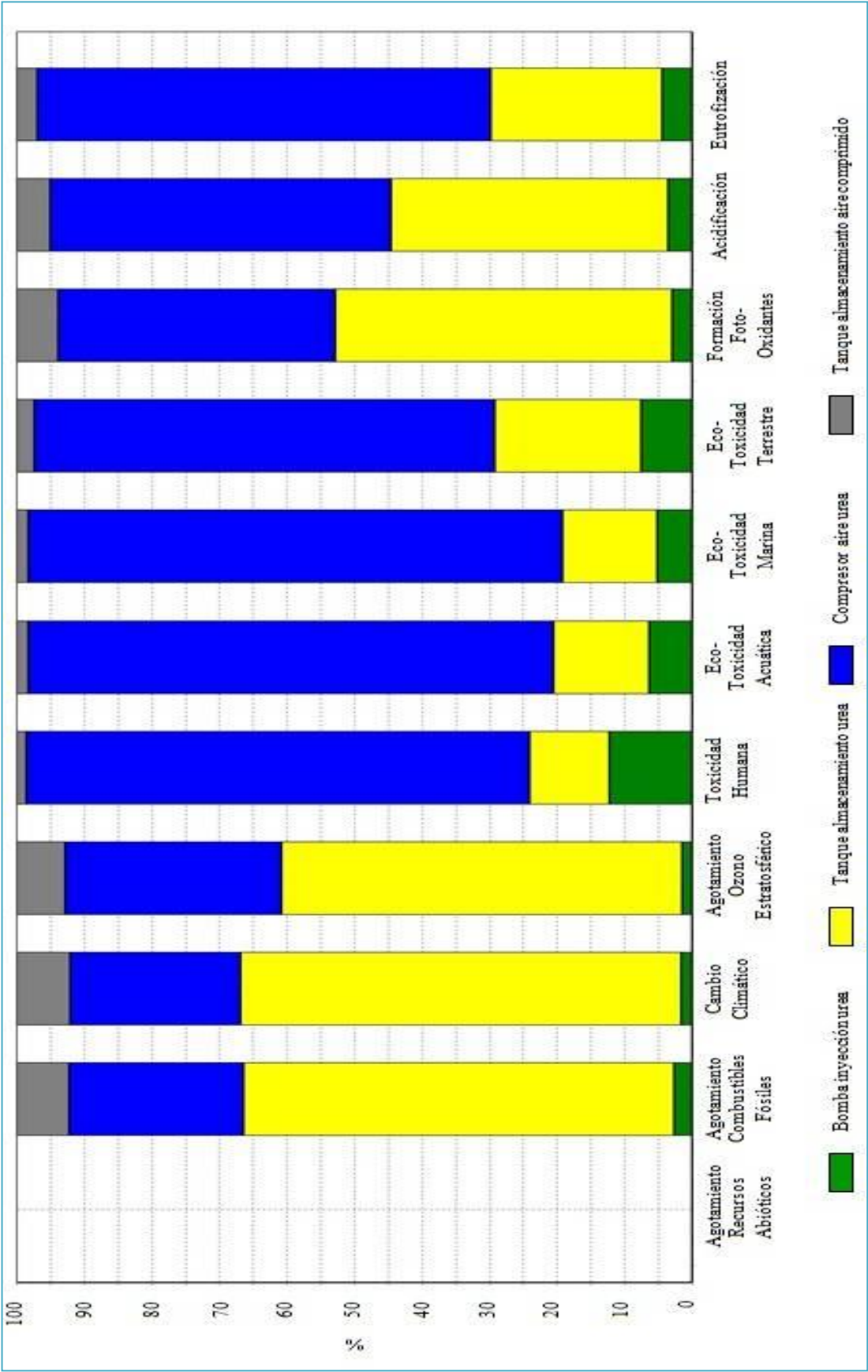


Figura 6.8 Caracterización impactos reducción de NOx. Fuente: Elaboración propia

6.3.5 Caldera

En la caldera se genera el vapor sobrecalentado a alta presión. Se compone de los siguientes elementos (Tabla 6.12):

- Generador de vapor
- Transportador de cenizas
- Tolvas
- Bombas de agua de alimentación
- Bombas de condensados
- Tanque de almacenamiento de agua de alimentación
- Tanque de almacenamiento de condensados

Los productos auxiliares de mantenimiento tanto de la caldera como de la torre de refrigeración de agua de la turbina se incluyen en este proceso. El agua refrigerada se utiliza para enfriar el aceite de lubricación de los cojinetes y reductor de la turbina.

Realizando una evaluación de impactos ambientales del proceso “caldera” (Figura 6.10), podemos observar que el mayor perfil medioambiental lo presenta la misma caldera como elemento en todas las categorías de impacto debido tanto al acero utilizado para la fabricación de los tubos como el calorifugado y las chapas de aluminio que envuelven la caldera.

El segundo elemento que contribuye más en el perfil medioambiental corresponde a las tolvas, por el mismo motivo que la caldera pero en menor cantidad, por la envergadura de la primera con respecto a las segundas.

| PRODUCTOS/CANTIDAD | MATERIALES | CANTIDAD | Ud. |
|---|--------------------------|-----------|----------------|
| GENERADOR DE VAPOR/1 Acuotubular con economizadores y sobrecalentadores Nº Fabricación: 94114/01/453 Fabricante: TERMISA (Nº APF 08-119718) Barcelona Fluidos: Agua, vapor saturado y vapor sobrecalentado Tipo: TAIL-END VON ROLL de 3 pasos (Ref. 94114) | Potencia térmica | 10.890,00 | kW |
| | Presión de diseño | 53,00 | bar |
| | Presión máx. de trabajo | 50,00 | bar |
| | Temperatura de diseño | 270,00 | °C |
| | Volumen total medio | 19,50 | m ³ |
| TRANSPORTADOR DE CENIZAS Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | Recorrido | 10 | m |
| | | | |
| TOLVAS/5 Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | Volumen | 3 | m ³ |
| | Acero. Peso | 148 | kg |
| | Aislamiento lana de roca | 5 | m |
| BOMBAS AGUA ALIMENTACION/2 Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | Presión | 70,00 | bar |
| | Potencia eléctrica | 60,00 | kW |
| BOMBAS DE CONDENSADOS/2 Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | Presión | 8,00 | bar |
| | Potencia eléctrica | 6,50 | kW |
| TANQUE DE AGUA DE ALIMENTACION Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | Capacidad | 15,00 | m ³ |
| | Acero | | |
| TANQUE DE CONDENSADOS Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | Capacidad | 6,00 | m ³ |
| | Acero | | |

Tabla 6.12 Caldera de vapor y equipos auxiliares. Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1)

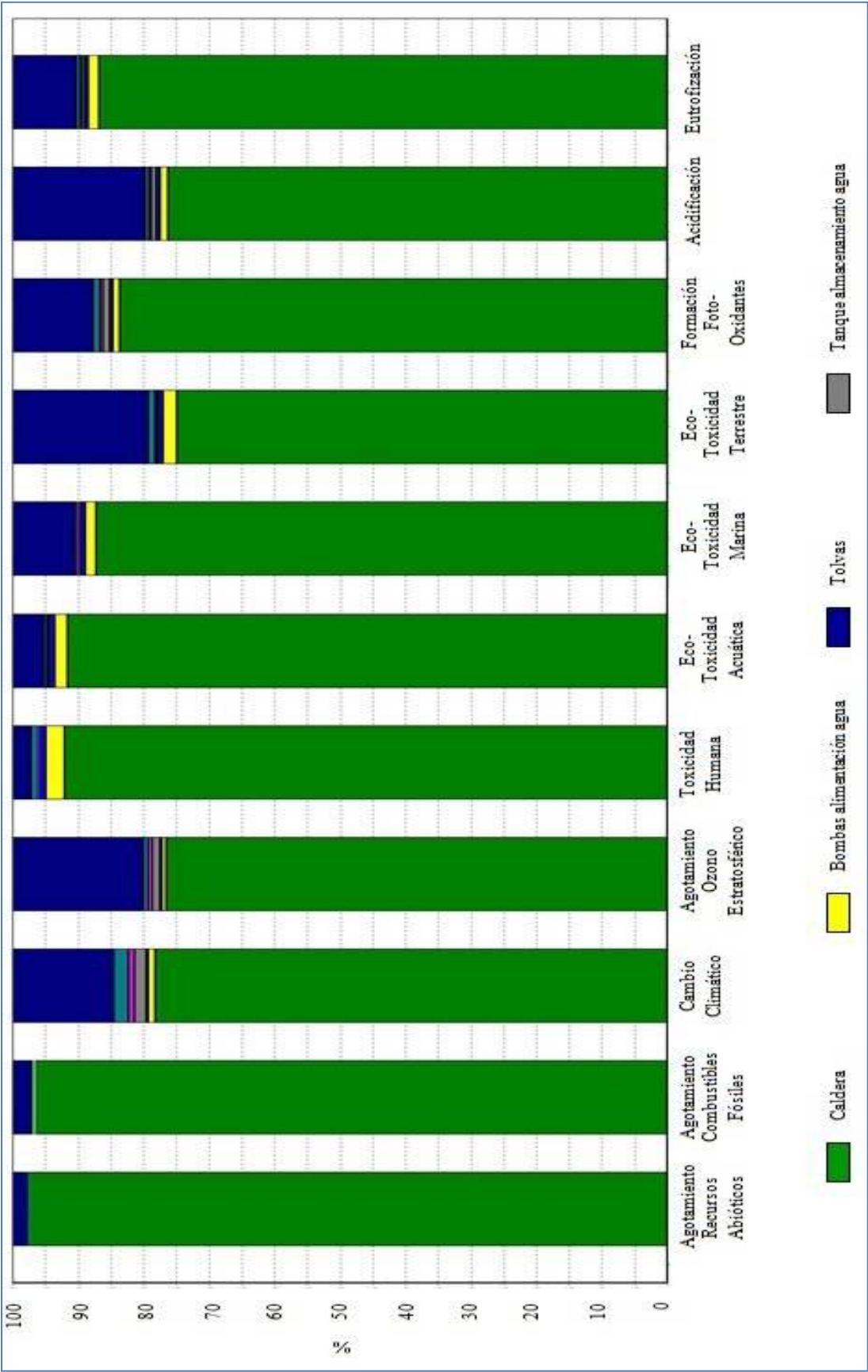


Figura 6.9 Caracterización impactos proceso "caldera". Fuente: Elaboración propia

| CATEGORIA DE IMPACTO | UNIDAD | TOTAL | Caldera | Bombas agua alimentación | Bombas de condensados | Tanque Agua alimentación | Tanque de condensados | Transportador de cenizas | Tolvas |
|------------------------------------|--------------------------------------|----------|----------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|----------|
| Agotamiento recursos Abióticos | kg Sb eq. | 3,67E-03 | 3,59E-03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 8,92E-05 |
| Agotamiento combustibles Abióticos | MJ | 1,34E+05 | 1,30E+05 | 1,00E+02 | 4,17E+01 | 1,33E+02 | 6,21E+01 | 1,40E+02 | 4,00E+03 |
| Cambio climático | kg CO ₂ eq. | 1,06E+05 | 8,32E+04 | 1,10E+03 | 4,23E+02 | 1,91E+03 | 8,92E+02 | 2,38E+03 | 1,65E+04 |
| Agotamiento ozono | kg CFC-11 eq. | 8,01E-03 | 6,13E-03 | 4,75E-05 | 2,25E-05 | 9,61E-05 | 4,48E-05 | 6,61E-05 | 1,60E-03 |
| Toxicidad humana | kg 1,4-DBeq. | 3,75E+05 | 3,45E+05 | 1,05E+04 | 4,17E+03 | 5,56E+02 | 2,59E+02 | 3,47E+03 | 1,10E+04 |
| Eco-toxicidad acuática | kg 1,4-DBeq. | 5,87E+04 | 5,38E+04 | 1,16E+03 | 4,60E+02 | 1,37E+02 | 6,38E+01 | 2,66E+02 | 2,83E+03 |
| Eco-toxicidad marina | kg 1,4-DBeq. | 2,77E+08 | 2,42E+08 | 4,69E+06 | 1,88E+06 | 6,93E+05 | 3,24E+05 | 1,11E+06 | 2,66E+07 |
| Eco-toxicidad terrestre | kg 1,4-DBeq. | 4,11E+02 | 3,08E+02 | 8,50E+00 | 3,43E+00 | 1,33E+00 | 6,20E-01 | 3,97E+00 | 8,55E+01 |
| Formación foto-oxidantes | kg C ₂ H ₄ eq. | 4,54E+01 | 3,80E+01 | 4,84E-01 | 2,07E-01 | 4,38E-01 | 2,05E-01 | 5,18E-01 | 5,58E+00 |
| Acidificación | kg SO ₂ eq. | 6,87E+02 | 5,23E+02 | 8,46E+00 | 3,67E+00 | 5,22E+00 | 2,44E+00 | 4,54E+00 | 1,39E+02 |
| Eutrofización | kg PO ₄ --- eq. | 4,49E+02 | 3,89E+02 | 6,93E+00 | 2,84E+00 | 2,11E+00 | 9,87E-01 | 2,74E+00 | 4,35E+01 |

Tabla 6.13 Caracterización impactos caldera. Fuente: Elaboración propia

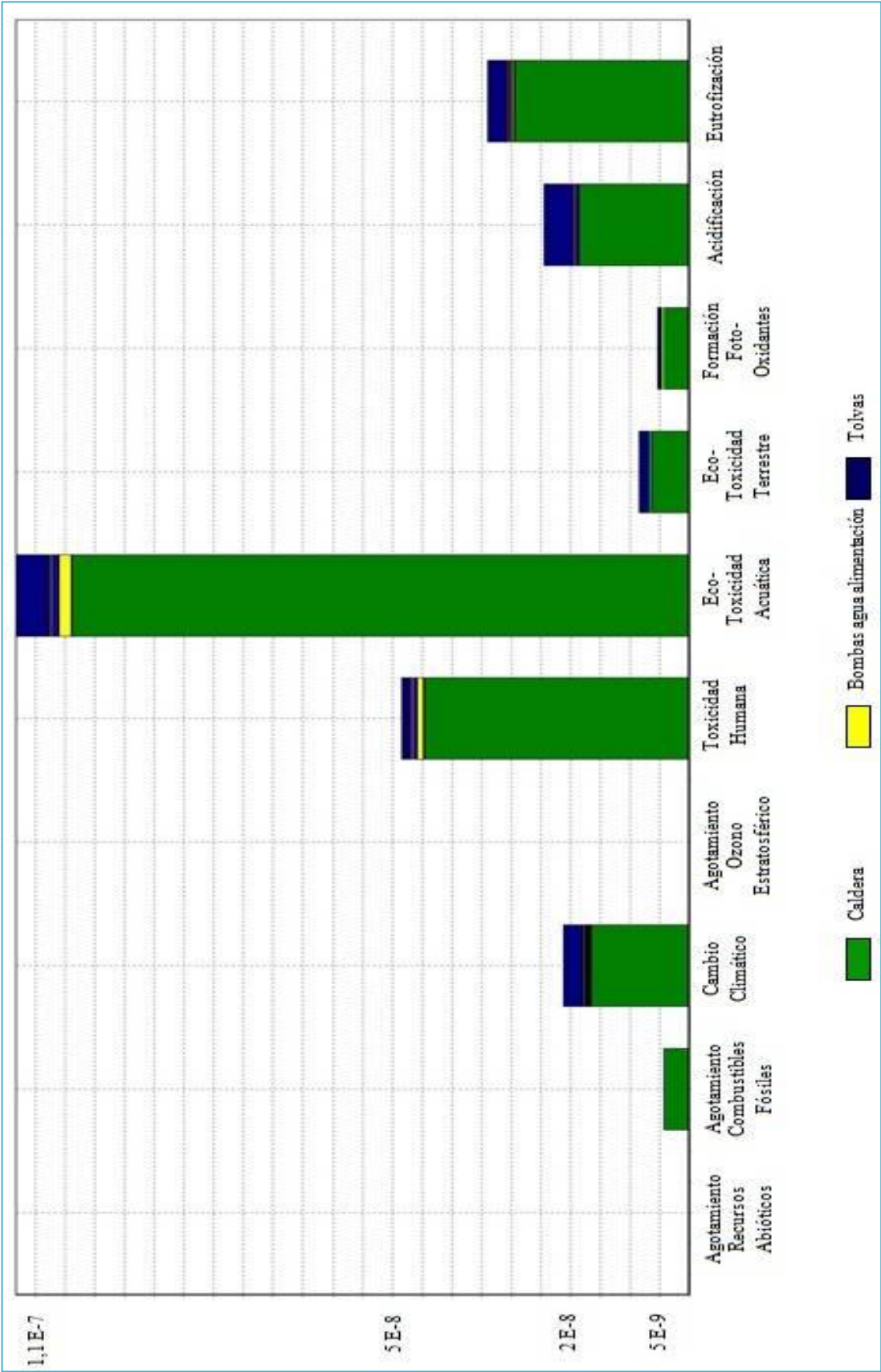


Figura 6.10 Normalización de impactos de caldera. Fuente: Elaboración propia

| CATEGORIA DE IMPACTO | TOTAL | Caldera | Bombas agua alimentación | Bombas de condensados | Tanque Agua alimentación | Tanque de condensados | Transportador de cenizas | Tolvas |
|------------------------------------|----------|----------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|----------|
| Agotamiento recursos Abióticos | 4,34E-11 | 4,23E-11 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,05E-12 |
| Agotamiento combustibles Abióticos | 4,27E-09 | 4,13E-09 | 3,19E-12 | 1,33E-12 | 4,23E-12 | 1,97E-12 | 4,45E-12 | 1,27E-10 |
| Cambio climático | 2,12E-08 | 1,66E-08 | 2,19E-10 | 8,42E-11 | 3,80E-10 | 1,78E-10 | 4,74E-10 | 3,28E-09 |
| Agotamiento ozono | 8,97E-11 | 6,87E-11 | 5,32E-13 | 2,52E-13 | 1,08E-12 | 5,02E-13 | 7,40E-13 | 1,79E-11 |
| Toxicidad humana | 4,84E-08 | 4,45E-08 | 1,35E-09 | 5,38E-10 | 7,17E-11 | 3,35E-11 | 4,47E-10 | 1,42E-09 |
| Eco-toxicidad acuática | 1,13E-07 | 1,04E-07 | 2,24E-09 | 8,87E-10 | 2,64E-10 | 1,23E-10 | 5,13E-10 | 5,47E-09 |
| Eco-toxicidad marina | 2,37E-06 | 2,07E-06 | 4,02E-08 | 1,61E-08 | 5,94E-09 | 2,77E-09 | 9,48E-09 | 2,28E-07 |
| Eco-toxicidad terrestre | 8,48E-09 | 6,35E-09 | 1,75E-10 | 7,07E-11 | 2,74E-11 | 1,28E-11 | 8,18E-11 | 1,76E-09 |
| Formación foto-oxidantes | 5,36E-09 | 4,49E-09 | 5,71E-11 | 2,44E-11 | 5,17E-11 | 2,41E-11 | 6,11E-11 | 6,58E-10 |
| Acidificación | 2,44E-08 | 1,86E-08 | 3,00E-10 | 1,30E-10 | 1,85E-10 | 8,65E-11 | 1,61E-10 | 4,93E-09 |
| Eutrofización | 3,40E-08 | 2,95E-08 | 5,25E-10 | 2,15E-10 | 1,60E-10 | 7,48E-11 | 2,08E-10 | 3,30E-09 |

Tabla 6.14 Normalización impactos caldera. Fuente: Elaboración propia

6.3.6 Recuperación de energía

En esta sección tiene lugar la transformación de la energía térmica, contenida en el vapor sobrecalentado a alta presión, en energía mecánica en la turbina para producir, a continuación electricidad en el alternador. Se divide en las siguientes secciones (Tablas 6.15 y 6.16):

- Torres de enfriamiento de agua
- Turboalternador
- Transformadores
- Aerocondensadores

| PRODUCTOS/CANTIDAD | MATERIALES | COMPONENTES | DIMENSION | CANTIDAD | Ud. |
|--|-----------------------|--------------------|-----------|-------------|----------------|
| TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA/2 Tipo EWK 144/09/2,2 Sulzer Pumps Spain S.A. Calle La Ribera, s/n Polígono Industrial Villayuda 09080 Burgos Spain | Bombas | 8 bar | 6,5 kW | 2,00 | Uds |
| | Torre de enfriamiento | De fibra de vidrio | | | |
| | | Potencia: | | 260,00 | kW |
| | | Peso | | 855,00 | kg |
| | | Capacidad | | 3,45 | m ³ |
| | | Cantidad | | 2,00 | Uds |
| TURBOALTERNADOR Dresser-Rand Company. Lehavre. France. | Potencia | | | 2.800,00 | kW |
| | Tensión | | | 6,00 | kV |
| TRANSFORMADORES Eremu S.A. Donostia Ibilbidea, 70 – Parc. 5-6 ASTIGARRAGA 20115 Gipuzkoa (España) | TR1 | 4000 kVA | 7000 kg | DE 6 A 10 | kV |
| | TR2 | 800 kVA | 2800 kg | DE 10 A 0,4 | kV |
| | TR3 | 800 kVA | 2800 kg | DE 10 A 0,4 | kV |
| | | | | | |

Tabla 6.15 Turboalternador. Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1)

El aceite de lubricación de los elementos mecánicos del turbogruppo se incluye en este proceso.

En las Figuras 6.11 y 6.12 se representan los impactos caracterizados y normalizados respectivamente del proceso de “recuperación de energía”. Se observa que las etapas de mayor impacto medioambiental corresponden tanto al turboalternador como a los aerocondensadores por su robustez y contenido de acero para su fabricación.

| PRODUCTOS/CANTIDAD | MATRIALES | CANTIDAD | Ud. |
|---|--|-----------|----------------|
| MOTOVENTILADORES/2 INTERCAMBIADOR DE CALOR AIR/AGUA Siemensstrasse 25-27 59199 Bönen Germany | Potencia | 80,40 | kW |
| | Potencia | 36.189,00 | kW |
| | Presión barométrica media | 1.007,00 | mbar |
| | Entalpía vapor exhaustación | 2.585,00 | kJ/kg |
| | Vapor máximo exhaustación. | 14,00 | kg/s |
| | Contra presión medida en turbina de descarga | 0,10 | bar abs. |
| | Temperatura diseño | 120,00 | ° C |
| BOMBAS RECUPERACION CONDENSADOS/2 Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | Presión | 8,00 | bar |
| | Potencia eléctrica | 6,50 | kW |
| POZOS DE CONDENSADOS/2 Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | Capacidad | 0,5 | m ³ |
| | Acero | | |

Tabla 6.16 Aerocondensadores. Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1)

Se puede ver que las categorías de impacto más influyentes son el agotamiento de recursos abióticos en el caso del turboalternador y la eco-toxicidad terrestre para los aerocondensadores. Sería importante estudiar cambiar este sistema de condensación por otro con una eficacia de condensación similar al estudiado y que presente menor impacto ambiental.

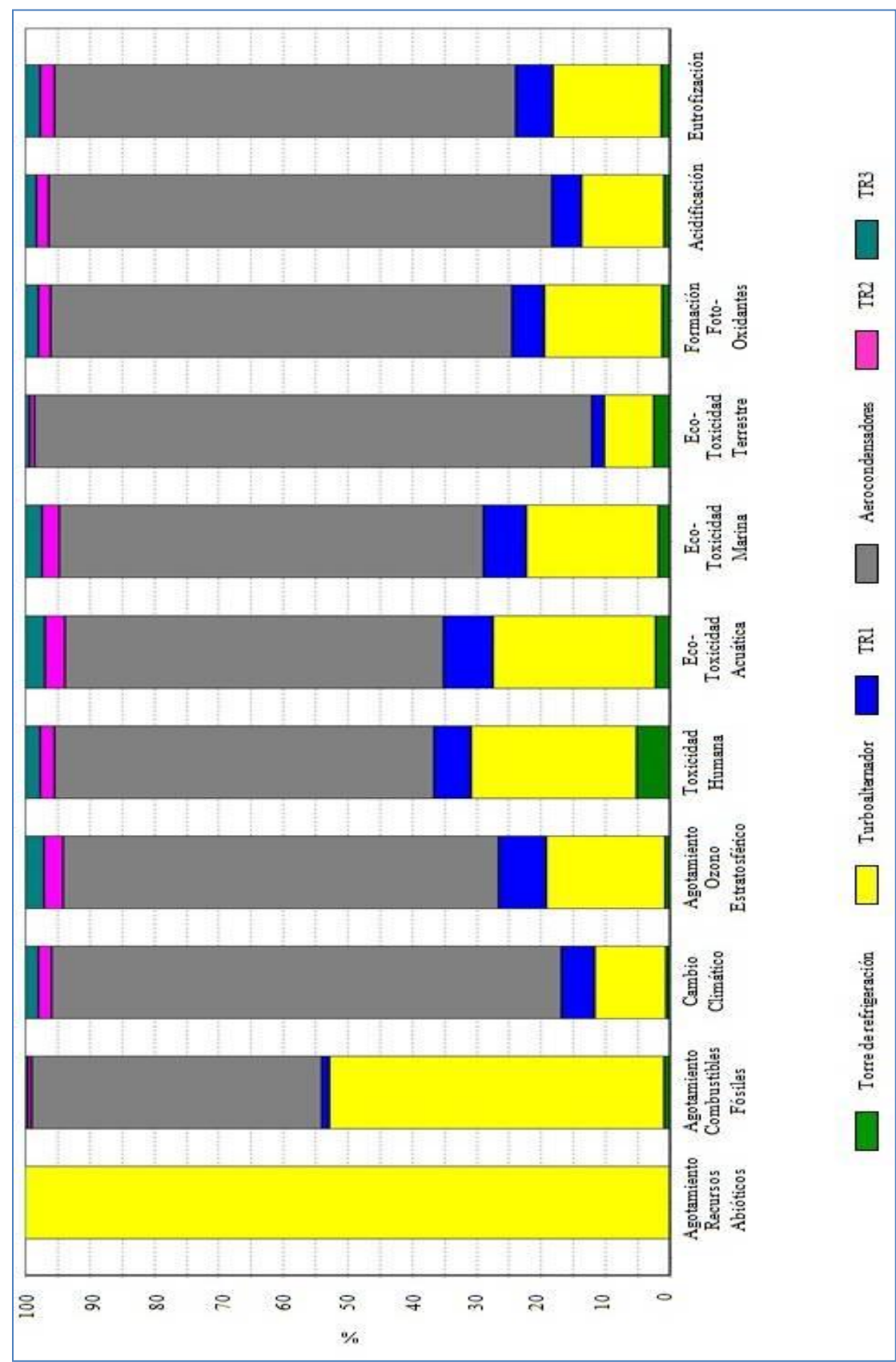
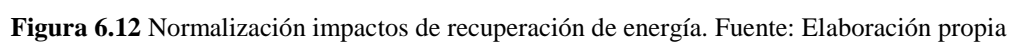


Figura 6.11 Caracterización impactos "recuperación de energía". Fuente: Elaboración propia

| CATEGORIA DE IMPACTO | UNIDAD | TOTAL | Torre refrigeración agua | Turbo alternador | TR1 | Aero-condensadores | TR2 | TR3 |
|------------------------------------|--------------------------------------|----------|--------------------------|------------------|----------|--------------------|----------|----------|
| Agotamiento recursos Abióticos | kg Sb eq. | 2,73E-03 | 1,85E-06 | 2,73E-03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Agotamiento combustibles Abióticos | MJ | 5,00E+04 | 4,28E+02 | 2,59E+04 | 6,40E+02 | 2,25E+04 | 2,56E+02 | 2,56E+02 |
| Cambio climático | kg CO ₂ eq. | 7,45E+05 | 4,89E+03 | 8,21E+04 | 3,80E+04 | 5,90E+05 | 1,52E+04 | 1,52E+04 |
| Agotamiento ozono | kg CFC-11 eq. | 4,43E-02 | 3,10E-04 | 8,20E-03 | 3,24E-03 | 3,00E-02 | 1,30E-03 | 1,30E-03 |
| Toxicidad humana | kg 1,4-DB eq. | 5,57E+05 | 2,84E+04 | 1,44E+05 | 3,20E+04 | 3,27E+05 | 1,28E+04 | 1,28E+04 |
| Eco-toxicidad acuática | kg 1,4-DB eq. | 1,55E+05 | 3,40E+03 | 3,89E+04 | 1,19E+04 | 9,08E+04 | 4,78E+03 | 4,78E+03 |
| Eco-toxicidad marina | kg 1,4-DB eq. | 8,94E+08 | 1,61E+07 | 1,83E+08 | 5,93E+07 | 5,88E+08 | 2,37E+07 | 2,37E+07 |
| Eco-toxicidad terrestre | kg 1,4-DB eq. | 1,24E+03 | 3,10E+01 | 9,59E+01 | 2,27E+01 | 1,07E+03 | 9,10E+00 | 9,10E+00 |
| Formación foto-oxidantes | kg C ₂ H ₄ eq. | 1,81E+02 | 2,06E+00 | 3,31E+01 | 9,19E+00 | 1,30E+02 | 3,67E+00 | 3,67E+00 |
| Acidificación | kg SO ₂ eq. | 5,01E+03 | 4,22E+01 | 6,41E+02 | 2,29E+02 | 3,91E+03 | 9,17E+01 | 9,17E+01 |
| Eutrofización | kg PO ₄ --- eq. | 1,99E+03 | 2,52E+01 | 3,35E+02 | 1,15E+02 | 1,42E+03 | 4,61E+01 | 4,61E+01 |

Tabla 6.17 Caracterización impactos recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia



| CATEGORIA DE IMPACTO | TOTAL | Torre refrigeración agua | Turbo alternador | TR1 | Aero-condensadores | TR2 | TR3 |
|------------------------------------|----------|--------------------------|------------------|----------|--------------------|----------|----------|
| Agotamiento recursos Abióticos | 3,23E-11 | 2,18E-14 | 3,22E-11 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Agotamiento combustibles Abióticos | 1,59E-09 | 1,36E-11 | 8,25E-10 | 2,04E-11 | 7,14E-10 | 8,15E-12 | 8,15E-12 |
| Cambio climático | 1,48E-07 | 9,72E-10 | 1,63E-08 | 7,57E-09 | 1,17E-07 | 3,03E-09 | 3,03E-09 |
| Agotamiento ozono | 4,96E-10 | 3,47E-12 | 9,19E-11 | 3,63E-11 | 3,36E-10 | 1,45E-11 | 1,45E-11 |
| Toxicidad humana | 7,19E-08 | 3,66E-09 | 1,85E-08 | 4,13E-09 | 4,22E-08 | 1,65E-09 | 1,65E-09 |
| Eco-toxicidad acuática | 2,98E-07 | 6,57E-09 | 7,51E-08 | 2,31E-08 | 1,75E-07 | 9,22E-09 | 9,22E-09 |
| Eco-toxicidad marina | 7,66E-06 | 1,38E-07 | 1,57E-06 | 5,08E-07 | 5,04E-06 | 2,03E-07 | 2,03E-07 |
| Eco-toxicidad terrestre | 2,55E-08 | 6,38E-10 | 1,97E-09 | 4,69E-10 | 2,21E-08 | 1,87E-10 | 1,87E-10 |
| Formación foto-oxidantes | 2,14E-08 | 2,43E-10 | 3,91E-09 | 1,08E-09 | 1,53E-08 | 4,34E-10 | 4,34E-10 |
| Acidificación | 1,78E-07 | 1,50E-09 | 2,28E-08 | 8,13E-09 | 1,39E-07 | 3,25E-09 | 3,25E-09 |
| Eutrofización | 1,51E-07 | 1,91E-09 | 2,54E-08 | 8,74E-09 | 1,08E-07 | 3,49E-09 | 3,49E-09 |

Tabla 6.18 Normalización impactos recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia

6.3.7 Planta de tratamiento de agua (PTA)

En la PTA se realiza la desmineralización del agua hasta un valor menor o igual a 5 μ s para la alimentación de la caldera con agua desmineralizada y así evitar incrustaciones. Utilizando agua desmineralizada en la caldera, alarga su vida útil. Los productos de esta sección son los siguientes (Tabla 6.19):

- Estación de bombeo de agua
- Planta de tratamiento de agua

| PRODUCTOS/CANTIDAD | MATERIALES | CANTIDAD | Ud. |
|---|-------------------|----------|-------------------|
| ESTACION DE BOMBEO DE AGUA Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | Capacidad | 200,00 | m ³ |
| | Consumo eléctrico | 1,68 | kWh/Tn RSU |
| PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA Veolia Water Systems Ibérica S.L. Pol. Industrial Santa Ana. C/ El Electrodo, 52 28522 Rivas-Vaciamadrid. Madrid (Spain) | Producción | 2,00 | m ³ /h |
| | Consumo eléctrico | 2,01 | kWh/Tn RSU |

Tabla 6.19 Planta de tratamiento de agua. Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1)

Los productos auxiliares de mantenimiento de la planta de tratamiento de agua se incluyen en esta sección.

La Figura 6.13 nos cuantifica los impactos ambientales, tras estos datos constatamos que la etapa de la PTA es la que más contribuye en el perfil ambiental. Debido principalmente a las sustancias de mantenimiento que se utilizan en el proceso para llevar a cabo el objetivo de desmineralización del agua de caldera, mencionado más arriba. En este caso la categoría de impacto más influyente corresponde al agotamiento del ozono estratosférico.

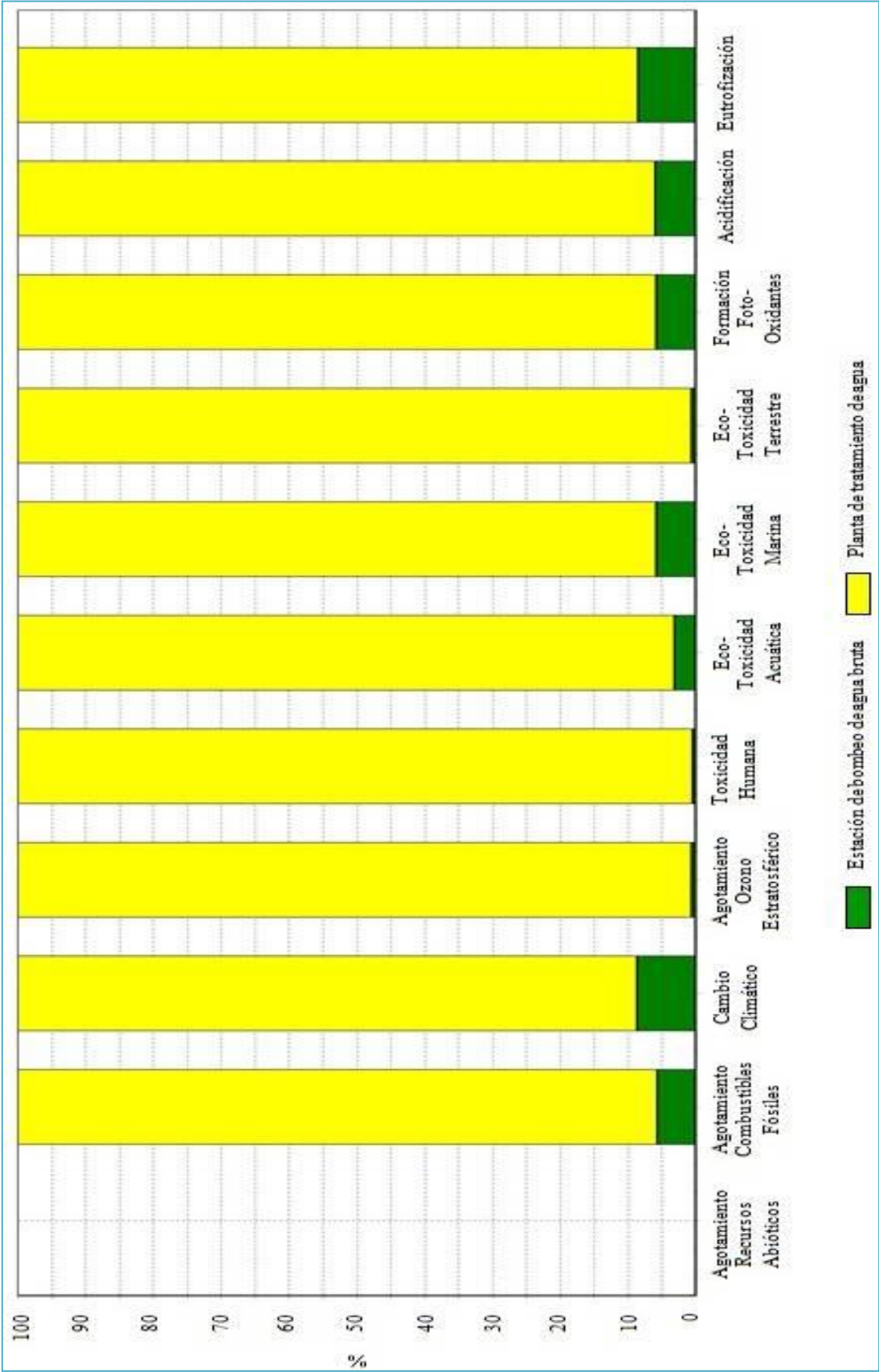


Figura 6.13 Caracterización impactos planta de tratamiento de agua. Elaboración propia

6.3.8 Electricidad

Está formada se introducen todos los siguientes productos (Tablas 6.20 y 6.21):

- Grupo electrógeno
- Sistema de Alimentación Ininterrumpida
- Cables eléctrico
- Cuadros eléctricos
- Lámparas de iluminación
- Informática
- Pantallas de TV

| PRODUCTOS/CANTIDAD | MATERIALES | CANTIDAD | DIMENSION | CANTIDAD | Ud. |
|---|-------------------------|----------|-----------|----------|-----------|
| GRUPO ELECTROGENO DIESEL Taiguer Generadores. Barcelona. | Potencia principal | 360 | Kw | 450,00 | kVA |
| | Revoluciones/frecuencia | 1500 | rpm | 50,00 | Hz |
| | Voltaje | 400 | V | 230,00 | V |
| | Fases | | | 3,00 | Uds |
| | Factor de potencia | | | 1/220 V | 0,8/380 V |
| | Peso | | | 3.270,00 | kg |

Tabla 6.20 Grupo electrógeno. Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1)

La Figura 6.14 nos presenta los impactos ambientales del proceso “electricidad”. En ellas se constata que los mayores impactos corresponden al cableado y los cuadros eléctricos repartidos por toda la planta. Por lo que deberíamos tener en cuenta a la hora de diseñar una planta incineradora el ahorro en la instalación de estos dos productos para optimizar sus cantidades.

Los subprocesos lámparas de iluminación y pantallas de televisión destacan en los impactos ambientales correspondientes a las categorías de agotamiento de recursos abióticos y combustibles fósiles.

| PRODUCTOS/CANT. | MATERIALES | COMPONENTES | DIMENSION | CANTIDAD | Ud. |
|---|------------|-------------|------------|-------------|--------|
| S.A.I. MGE Onduladores, S.A. Av.de la Innovación s/n. Sevilla. España. | Modelo | COMET S33 | 3Ø | | |
| | | | Tensión | 380/400/415 | V |
| | | | Intensidad | 112 | A |
| | | | Frecuencia | 50/60 | Hz |
| | | | Potencia | 24/30 | kW/kVA |
| | | | Peso | 480 | kg |
| | | | Autonomía | 30 | min |
| | | | Altura | 1,385 | m |
| | | | Fondo | 0,750 | m |
| | | | Ancho | 0,610 | m |
| CABLE ELECTRICO | | | | 10521 | m |
| CUADRO ELECTRICO | | | | 2560 | kg |
| LAMPARA ILUMINACION | | | | 350 | kg |
| INFORMATICA | Router | | | 5 | Uds |
| | Teclado | | | 25 | Uds |
| | Ratón | Óptico | | 25 | Uds |
| | Portátil | | | 5 | Uds |
| | Pantalla | Plana | 17" | 25 | Uds |
| | Impresora | Laser | | 3 | Uds |
| | CPU | | | 25 | Uds |
| PANTALLA TV | | LCD | | 36 | kg |

Tabla 6.21 Electricidad. Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1)

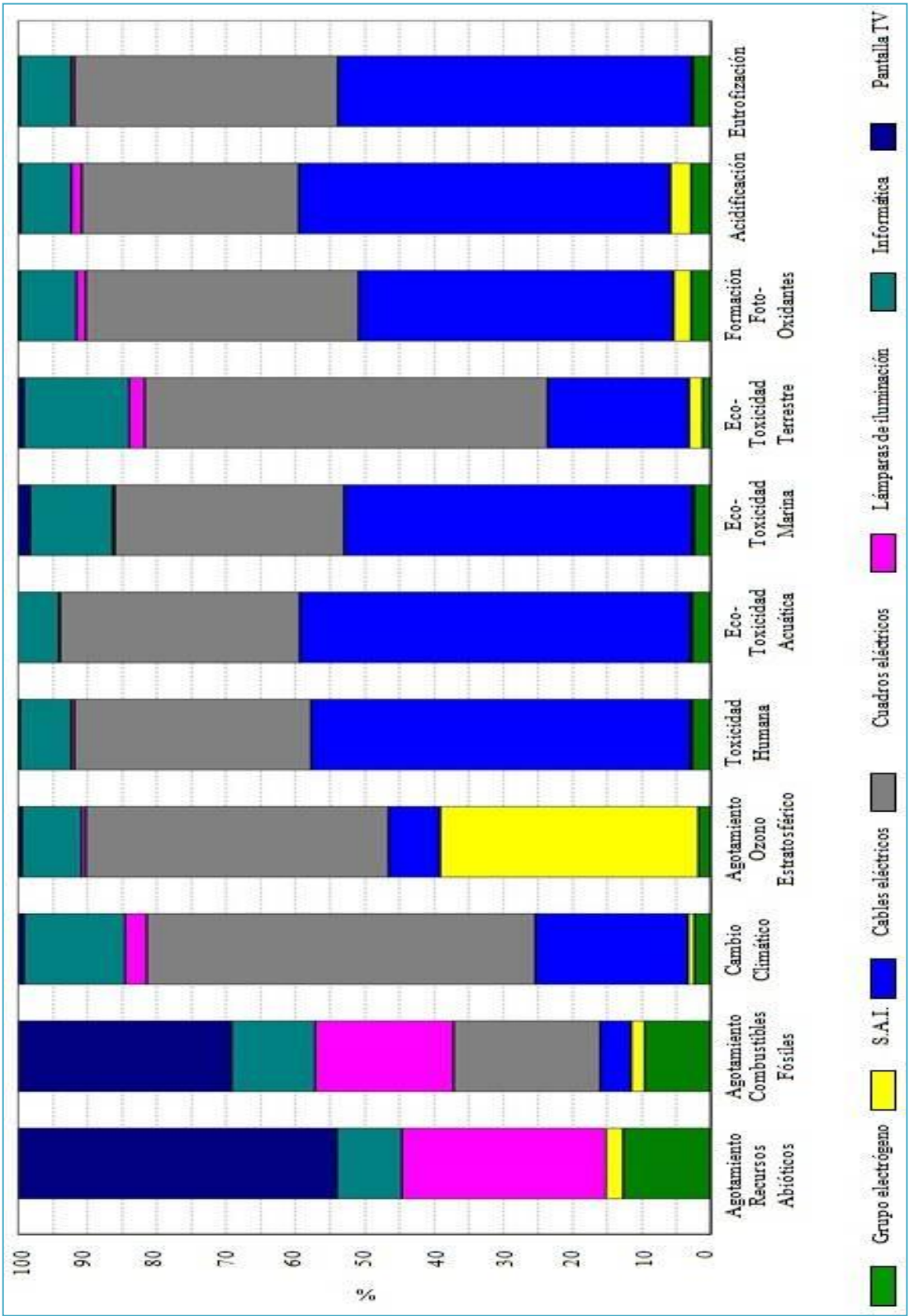


Figura 6.14 Caracterización impactos electricidad. Elaboración propia

6.3.9 Depuración de gases

Esta etapa consiste en un depurador de tipo semiseco, adsorción sobre carbón activo y filtro de mangas, para mayor información sobre este proceso ver apartado 4.3.3.

Los residuos sólidos resultantes a la salida del proceso de depuración de gases, están formados por una mezcla de los siguientes componentes:

- Cenizas volantes arrastrados por el flujo de gases a la salida de la caldera.
- Productos de la neutralización de los ácidos por la cal viva.
- Partículas en suspensión.
- Metales pesados y compuestos orgánicos volátiles secuestrados por el carbón activo.

Estos residuos son ensacados en sacos grandes y enviados a la península para su tratamiento y utilización como bloques de hormigón para rellenos en carreteras. Con el objetivo de no extralimitarnos en los objetivos fijados en el presente trabajo, los procesos de reciclaje de estos residuos no serán incluidos.

La depuración de gases contiene los siguientes elementos (Tabla 6.22):

- Pulverización
- Filtro de mangas
- Transportador bajo filtro
- Tolvas
- Tanque almacenamiento cal viva
- Tanque de apagado de cal viva
- Bombas de lechada (cal viva + agua)
- Bombas agua de proceso
- Ventilador centrífugo de tiro
- Chimenea
- Transportador de residuos

- Revestimiento exterior
- Silo de almacenamiento de ceniza
- Compresores de aire de limpieza
- Tanque almacenamiento aire comprimido de limpieza

| PRODUCTOS/CANT. | MATRIALES | COMPONENTES/CANT. | CANTIDAD | Ud. |
|---|-----------------------------------|----------------------------|-----------|-------------------|
| DEPURACION DE GASES Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid. España | Pulverización | Torre de acondicionamiento | 150,00 | m ³ |
| | | Rampa de pulverización/2 | 45,00 | kg |
| | | Ventilador de barrido | 1,10 | kW |
| | Filtro de mangas | Caudal de gases | 25.000,00 | m ³ |
| | | Acero | 7.000,00 | kg |
| | Transportador bajo filtro | Recorrido | 12 | m |
| | Tolvas/3 | Peso acero: 148 kg | 3 | m ³ |
| | Tanque almacenamiento de cal viva | Capacidad | 60,00 | m ³ |
| | | Acero | | |
| | Tanque de apagado de cal viva | Capacidad | 5,00 | m ³ |
| | | Acero | | |
| | Bombas lechada | Cantidad | 2,00 | Uds |
| | | Potencia de cada una | 7,00 | kW |
| | Bombas de agua de proceso | Cantidad | 2,00 | Uds |
| | | Potencia de cada una | 7,00 | kW |
| | Ventilador centrifugo de tiro | Caudal | 14.600,00 | m ³ /h |
| | | | | |
| | Chimenea | altura | 30,00 | m |
| | Transportador residuos | recorrido | 30,00 | m |
| | Revestimiento exterior: | | 60,00 | m |
| | Lana de roca DN 3000 | Espesor | | |
| | Recubrimiento de aluminio | Espesor | | |
| | Silo de almacenamiento de cenizas | Capacidad | 100,00 | m ³ |
| | | Acero | | |
| COMPRESOR AIRE LIMPIEZA/3 Compresor de aire estacionario de tornillo Marca: INGERSOLL-RAND Modelo: SSR ML 45 | | | 60,39 | m ³ |
| | | presión | 8,00 | bar |
| | | caudal aire comprimido | 444,00 | m ³ /h |
| | | potencia | 52,00 | kW |
| | | peso | 926,00 | kg |
| | | Consumo eléctrico | 2,91 | kWh/Tn RSU |
| | | | | |
| TANQUE ALMACENAMIENTO AIRE COMPRIMIDO/2 Fabricado Lleida. España. | Capacidad | | 2,00 | m ³ |
| | acero | | | |

Tabla 6. 22 Depuración de gases. Fuente: Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1)

El sistema de inyección de carbón activo no se ha introducido porque es insignificante con respecto al resto de subprocessos que forman la depuración de gases y en los resultados no aparecería.

La Figura 6.15 representa el árbol en porcentajes del montaje del proceso de depuración de gases. Se ve claramente que el mayor peso de la carga ambiental se la lleva el filtro de mangas.

Tanto la Figura 6.15 como la Figura 6.16 nos muestran claramente que el elemento de filtro de mangas es el más influyente en el impacto ambiental del proceso de depuración de gases.

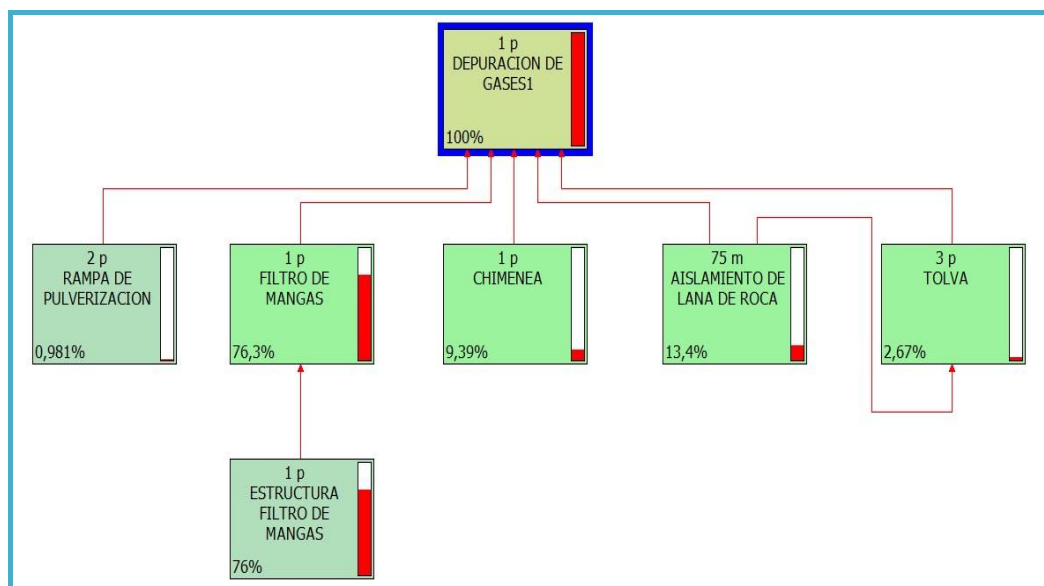


Figura 6. 15 Árbol en porcentajes del montaje de la depuración de gases. Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto hay que plantearse hacer un estudio de impacto ambiental de los tipos de tratamiento de partículas existentes (apartado 1.5.2.2.1), a la hora de diseñar una incineradora de RSU, para elegir el método que presente mejor perfil ambiental.

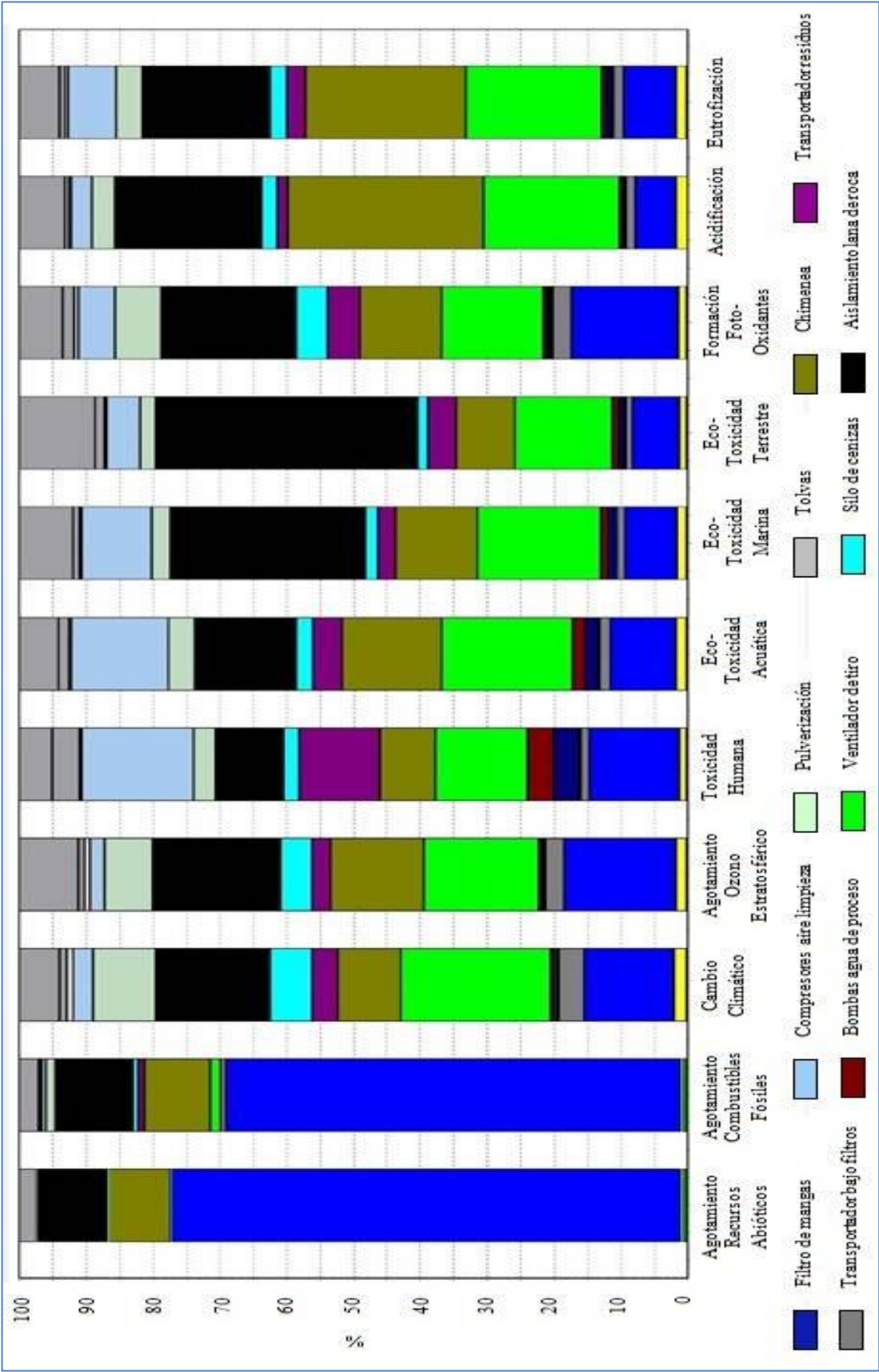


Figura 6.16 Caracterización impactos depuración de gases. Fuente: Elaboración propia

6.3.10 Fontanería

En el apartado de fontanería, los accesorios, valvulería e instrumentación se han introducido en los siguientes subprocesos (Tabla 6.24):

- Tuberías
- Calorifugados
- Bombas contraincendios
- Bombas jockey (bombas que mantienen la presión en el circuito de agua contraincendios)

| PRODUCTOS/CANTIDAD | MATRIALES | CANTIDAD | Ud. |
|---|------------------------|----------|------|
| TUBERIAS | Acero | 3,126 | km |
| Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | | | |
| CALORIFUGADO | Lana de roca | 125 | kg |
| Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | Recubrimiento aluminio | 723 | kg |
| | | | |
| BOMBAS CONTRAINCENDIOS | | 2,00 | Uds. |
| Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | Potencia eléctrica | 60,00 | kW |
| | | | |
| BOMBAS JOCKEY | | 2,00 | Uds |
| Ebara España Bombas S.A. Calle de Cormoranes, 6, 28320 Pinto, Madrid | Potencia eléctrica | 7,00 | kW |
| | | | |

Tabla 6.23 Fontanería. Elaboración propia (datos facilitados por la EMPRESA 1)

La contribución de este proceso al impacto medioambiental es muy pequeña con respecto a las demás partes de la instalación. Ni siquiera se refleja en la evaluación de impacto de la infraestructura de la planta incineradora (Figura 6.18).

De todas formas representamos la comparación de los perfiles medioambientales de los subprocesos que constituyen el proceso de fontanería (Figura 6.17).

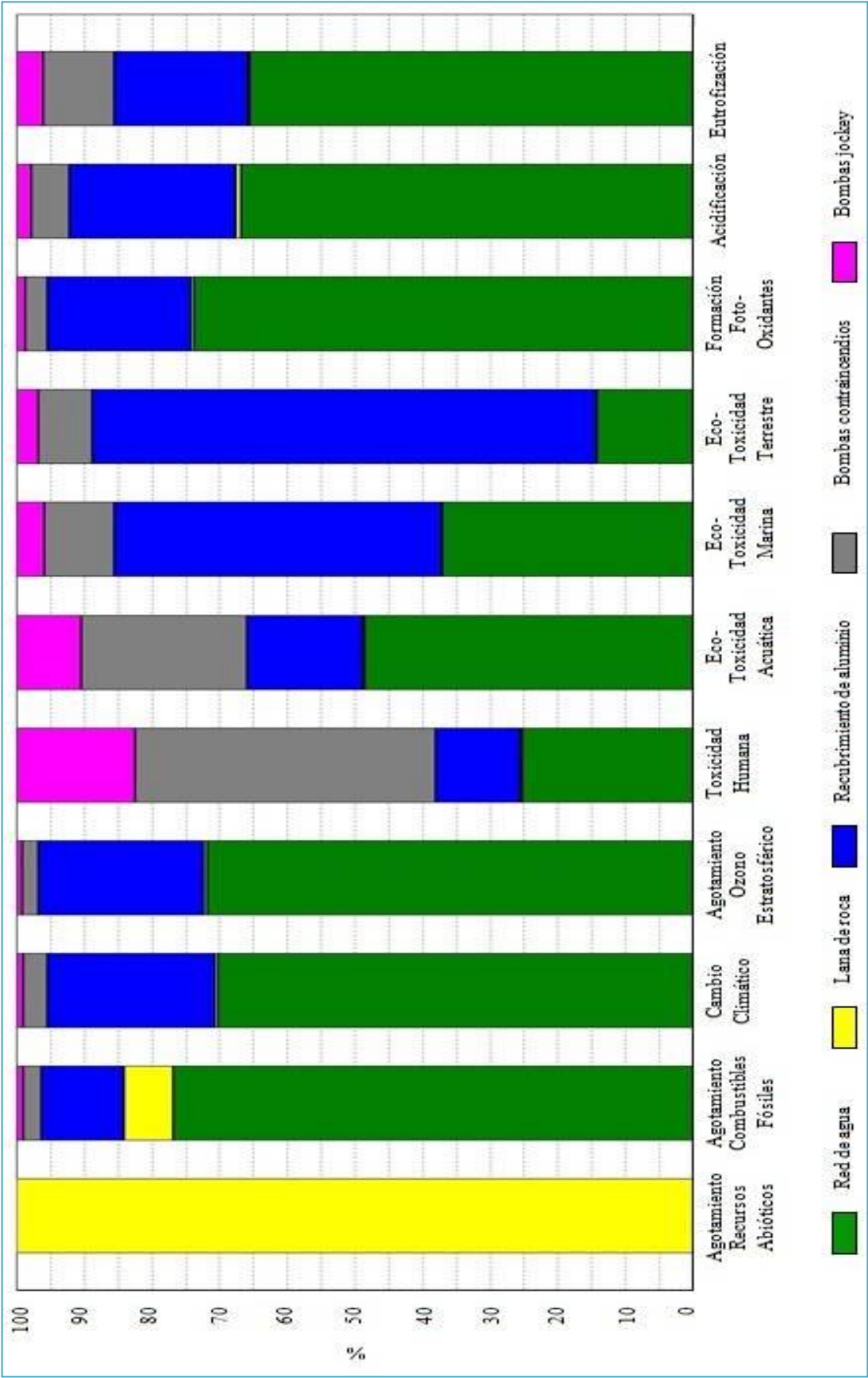


Figura 6.17 Caracterización impactos fontanería. Fuente: Elaboración propia

6.3.11. Infraestructura de la incineradora

La infraestructura de la incineradora de RSU, que es el que engloba el conjunto de la instalación, se ha dividido en los siguientes subprocesos:

- Alimentación de residuos
- Caldera
- Construcción
- Depuración de gases
- Electricidad
- Fontanería
- Planta de tratamiento de agua (PTA)
- Recuperación de energía
- Reducción de NOx
- Tratamiento de residuos
- Valorización energética

En la Figura 6.18 se representan los impactos medioambientales de la infraestructura de la incineradora de RSU en porcentajes.

Podemos ver que la construcción, es el elemento que mayor impacto ambiental tiene en la instalación.

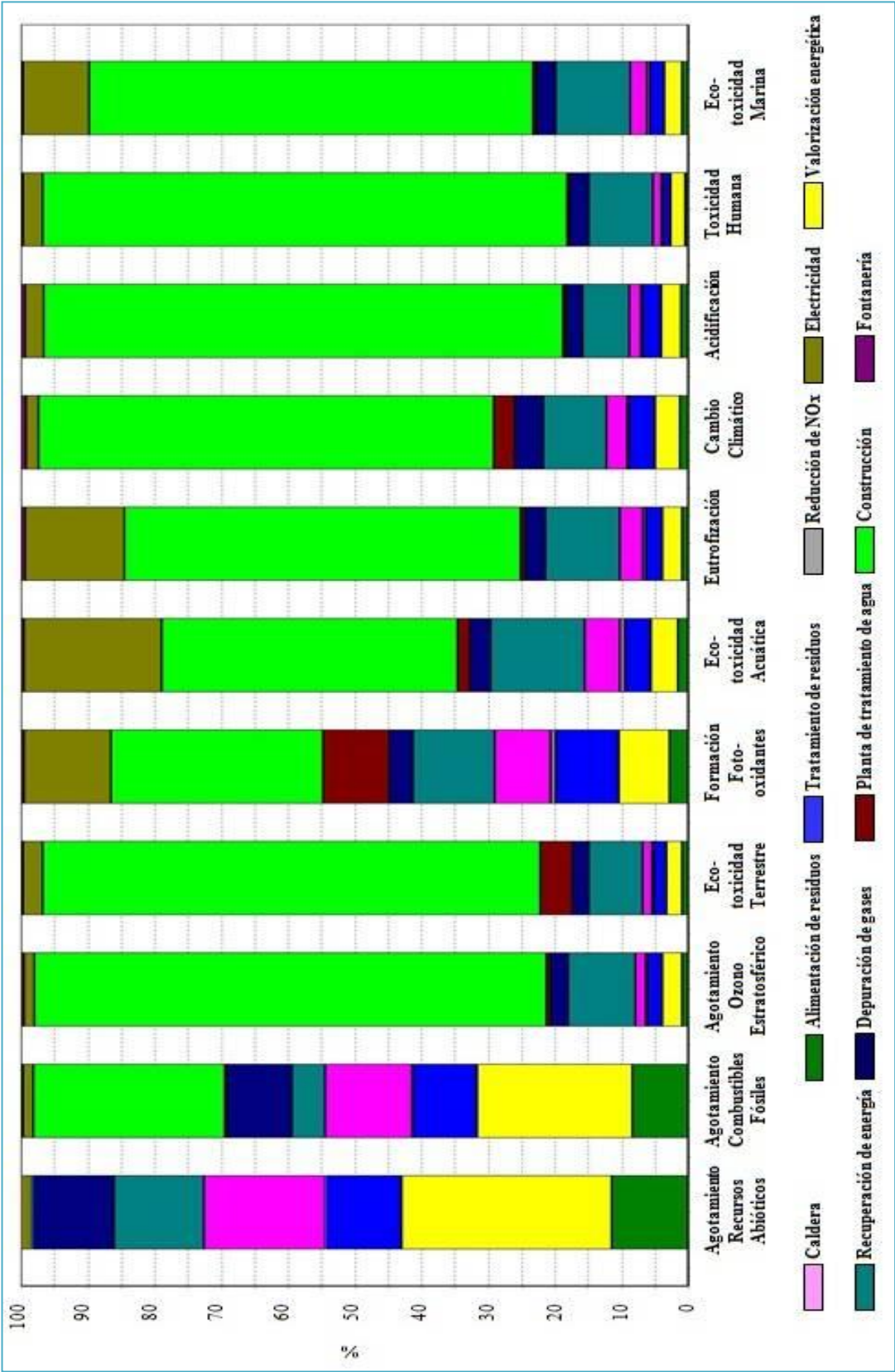


Figura 6.18 Caracterización impacto infraestructura de RSU con recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia

6.4. Evaluación del uso

En este apartado se estudian los perfiles medioambientales correspondiente al ciclo de vida de los materiales y el consumo eléctrico desde la cuna hasta el uso en la planta incineradora de estudio.

En la Tabla 6.24 se encuentran recogidos los principales recursos utilizados, el consumo de materiales auxiliares, y los residuos procedentes de la planta de valorización de residuos. Estas cantidades son relativas a una tonelada de residuos incinerados.

| CONCEPTO | DESCRIPCION | CANTIDAD |
|---|--|----------|
| Residuos | Escoria y cenizas de fondo (kg/Tn. RSU) | 237,5 |
| | Residuos salida acondicionador de cenizas (kg/Tn. RSU) | 30 |
| | Residuos metálicos (kg/Tn. RSU) | 12,5 |
| | | |
| Consumo de energías y agua | Energía eléctrica (kWh/Tn. RSU) | 3,02 |
| | | |
| Consumo de materiales auxiliares | Gasoil ²⁸ (kg/Tn.RSU) | 1,24 |
| | Agua de red (kg/Tn. RSU) | 564,7 |
| | Aire (kg/Tn.RSU) | 3.536,01 |
| | Urea (kg/Tn.RSU) | 3,2 |
| | Acido clorhídrico (33%) (kg/Tn.RSU) | 0,56 |
| | Hidróxido sódico (50%) (kg/Tn.RSU) | 1,89 |
| | Cal viva (kg/Tn.RSU) | 4,25 |
| | Carbón activo (kg/Tn.RSU) | 0,23 |
| | Fosfatos trisodicos (kg/Tn.RSU) | 0,004 |
| | Hidracina (kg/Tn.RSU) | 0,007 |

Tabla 6.24 Residuos energía, agua y materiales auxiliares relativos a la UF. Fuente: Elaboración propia con los datos facilitados por la EMPRESA 1

²⁸ Se utiliza para paradas y arranques de planta así como para aumentar temperatura en horno cuando lo necesita, debido a una mala combustión.

El consumo de energía eléctrica reflejado en la Tabla 6.24 corresponde a la cantidad de electricidad importada de la red eléctrica externa que abastece a la ciudad. Este consumo se produce durante la parada y arranque de la planta incineradora.

Este tipo de energía eléctrica corresponde al sistema eléctrico de la ciudad cuya generación se realiza mediante grupos de fuel.

La planta es autosuficiente en producción eléctrica para autoconsumo, cuando se encuentra funcionando en régimen normal. El excedente de energía eléctrica generado, se vierte a la red (Figura 6.19).

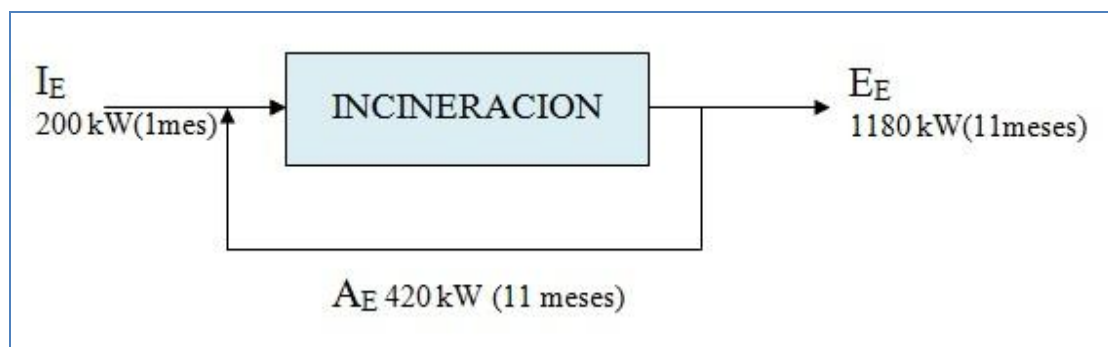


Figura 6.19 Flujos de energía eléctrica del proceso de incineración. Fuente: Elaboración propia

Donde:

I_E : Energía Eléctrica Importada en 1 mes. Tiempo estimado de parada de planta durante un año.

E_E : Energía Eléctrica Exportada en 11 meses. Tiempo estimado de funcionamiento de la planta en régimen normal durante un año.

A_E : Energía Eléctrica Autoconsumida en 11 meses. Tiempo estimado de funcionamiento de la planta en régimen normal durante un año.

$$I_E = 200 \cdot \text{meses} \cdot \text{días} \cdot \text{horas} \quad (\text{en kWh}) \quad \text{Ec. 6.1}$$

$$I_E = 200 \cdot 1 \cdot 30 \cdot 24 \text{ (en kWh)}$$

$$I_E = 144.000 \text{ kWh}$$

Dado que la cantidad anual media de RSU incinerados es de 47.688,976 toneladas.

Obtenemos:

$$I_E = 144.000 / 47.688,976 \text{ (kWh/Tn. RSU)} \quad \text{Ec. 6.2}$$

$$I_E = 3.02 \text{ kWh/Tn. RSU}$$

De la misma manera que hemos calculado I_E obtenemos los siguientes resultados:

$$E_E = 195,97 \text{ kWh/Tn. RSU}$$

$$A_E = 69,75 \text{ kWh/Tn. RSU}$$

Por lo tanto la energía eléctrica total producida por la planta incineradora de RSU es de:

$$T_E = E_E + A_E \quad \text{Ec. 6.3}$$

$$T_E = 265,72 \text{ kWh/Tn. RSU}$$

El peor perfil ambiental que presentan los materiales auxiliares necesarios en el proceso de incineración corresponde al gasoil en la categoría de agotamiento de recursos abióticos (Figura 6.20, Tabla 6.25).

El gasoil se utiliza para subir la temperatura de techo del horno cuando ésta baja de 850 °C. Esta situación se produce cuando el residuo incinerado presenta un poder calorífico inferior insuficiente para alcanzar dicha temperatura. El objetivo es evitar la

formación de dioxinas y furanos. Además el gasoil se usa en las paradas y arranques de planta.

La urea, utilizada para la reducción de los NO_x, es el segundo material auxiliar con mayor impacto. Pero en esta ocasión su peso se reparte casi en partes iguales en todas las categorías, salvo en el agotamiento de recursos abióticos que es nulo.

El siguiente elemento con peor perfil ambiental es el hidróxido de sodio (NaOH), utilizado como base química en el tratamiento de agua de la caldera.

En la Tabla 6.26 se presenta el perfil medioambiental de los materiales auxiliares expresados en porcentajes. Se pueden ver aquellos elementos con mas impactos ambientales por categorías. La urea es un reactivo con peor perfil medioambiental en la categoría de eutrofización (65 %) y toxicidad humana (60%).

En la categoría de impacto ambiental del agotamiento de recursos abióticos encontramos, como material más influyente al gasoil (100 %).

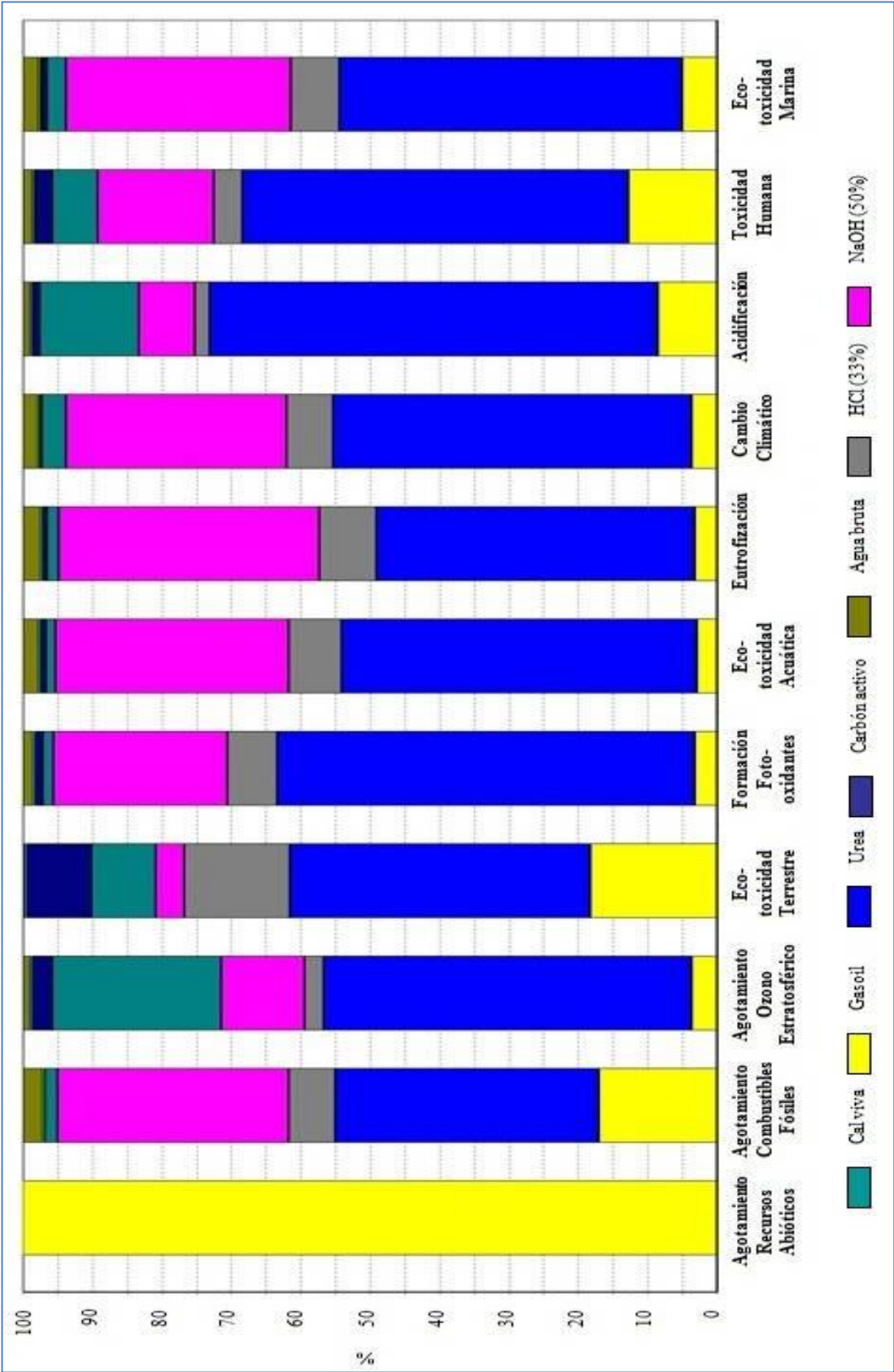


Figura 6.20 Caracterización impacto materiales auxiliares necesarios para la incineradora de RSU.

Fuente: Elaboración propia

| Categoría de impacto | Unidad | Total | GASOIL | UREA | HCl 33% | NaOH 50% | CaO | CARBON ACTIVO | FOSFATOS TRISODICOS | AGUA BRUTA |
|----------------------------------|--------------|----------|----------|----------|------------|-------------|----------|------------------|------------------------|---------------|
| Agotamiento recursos abióticos | kg Sb eq | 1,17E-12 | 1,17E-12 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Agotamiento combustibles fósiles | MJ | 9,94E-05 | 1,70E-05 | 3,77E-05 | 6,64E-06 | 3,31E-05 | 1,73E-06 | 3,44E-07 | 8,89E-08 | 2,81E-06 |
| Cambio climático | kg CO2 eq | 4,19E-03 | 1,54E-04 | 2,22E-03 | 1,16E-04 | 5,04E-04 | 1,02E-03 | 1,33E-04 | 2,80E-06 | 4,36E-05 |
| Agotamiento ozono | kg CFC-11 eq | 7,63E-10 | 1,39E-10 | 3,30E-10 | 1,17E-10 | 3,08E-11 | 7,07E-11 | 7,32E-11 | 1,49E-13 | 2,21E-12 |
| Toxicidad humana | kg 1,4-DB eq | 1,07E-03 | 3,39E-05 | 6,47E-04 | 7,67E-05 | 2,70E-04 | 1,57E-05 | 1,42E-05 | 1,15E-06 | 1,57E-05 |
| Eco-toxicidad acuática | kg 1,4-DB eq | 3,26E-04 | 9,53E-06 | 1,67E-04 | 2,51E-05 | 1,10E-04 | 4,46E-06 | 3,13E-06 | 2,45E-07 | 7,33E-06 |
| Eco-toxicidad marina | kg 1,4-DB eq | 1,98E+00 | 6,28E-02 | 9,09E-01 | 1,63E-01 | 7,43E-01 | 3,23E-02 | 1,51E-02 | 3,65E-03 | 5,06E-02 |
| Eco-toxicidad terrestre | kg 1,4-DB eq | 4,10E-06 | 1,50E-07 | 2,12E-06 | 2,72E-07 | 1,31E-06 | 1,39E-07 | 1,94E-08 | 5,74E-09 | 9,00E-08 |
| Formación foto-oxidantes | kg C2H4 eq | 1,22E-06 | 1,04E-07 | 7,88E-07 | 2,53E-08 | 9,85E-08 | 1,74E-07 | 1,48E-08 | 1,70E-09 | 1,34E-08 |
| Acidificación | kg SO2 eq | 1,44E-05 | 1,84E-06 | 8,02E-06 | 5,96E-07 | 2,42E-06 | 9,52E-07 | 3,71E-07 | 4,14E-08 | 1,91E-07 |
| Eutrofización | kg PO4--- eq | 5,26E-06 | 2,64E-07 | 2,60E-06 | 3,64E-07 | 1,70E-06 | 1,43E-07 | 4,56E-08 | 2,11E-08 | 1,20E-07 |

Tabla 6.25 Caracterización impacto de materiales auxiliares de incineradora de RSU. Fuente: Elaboración propia

| Categoría de impacto | Unidad | Total | GASOIL | UREA | HCl | NaOH | CAL | CARBON | |
|----------------------------------|--------------------------------------|----------|--------|------|-----|------|------|--------|------|
| | | | | | | | VIVA | ACTIVO | AGUA |
| Agotamiento recursos abióticos | kg Sb eq. | 1,17E-12 | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Agotamiento combustibles fósiles | MJ | 9,94E-05 | 17% | 38% | 7% | 33% | 2% | 0% | 3% |
| Cambio climático | kg CO ₂ eq. | 4,19E-03 | 4% | 53% | 3% | 12% | 24% | 3% | 1% |
| Agotamiento ozono | kg CFC-11 eq. | 7,63E-10 | 18% | 43% | 15% | 4% | 9% | 10% | 0% |
| Toxicidad humana | kg 1,4-DB eq. | 1,07E-03 | 3% | 60% | 7% | 25% | 1% | 1% | 1% |
| Ecotoxicidad acuática | kg 1,4-DB eq. | 3,26E-04 | 3% | 51% | 8% | 34% | 1% | 1% | 2% |
| Ecotoxicidad marina | kg 1,4-DB eq. | 1,98E+00 | 3% | 46% | 8% | 38% | 2% | 1% | 3% |
| Ecotoxicidad terrestre | kg 1,4-DB eq. | 4,10E-06 | 4% | 52% | 7% | 32% | 3% | 0% | 2% |
| Formación foto-oxidantes | kg C ₂ H ₄ eq. | 1,22E-06 | 9% | 65% | 2% | 8% | 14% | 1% | 1% |
| Acidificación | kg SO ₂ eq. | 1,44E-05 | 13% | 56% | 4% | 17% | 7% | 3% | 1% |
| Eutrofización | kg PO ₄ --- eq. | 5,26E-06 | 5% | 49% | 7% | 32% | 3% | 1% | 2% |

Tabla 6.26 Perfil ambiental de materiales auxiliares de incineradora de RSU en (%). Fuente: Elaboración propia

El consumo eléctrico de la planta presenta mayor impacto ambiental en las categoría de agotamiento de combustibles fósiles, y acidificación (Figura 6.21). Esto es debido al mix eléctrico de la ciudad que utiliza el fuel para la producción de energía eléctrica.

En la Tabla 6.27 se presentan los valores normalizados de los impactos ambientales generados por el consumo de electricidad.

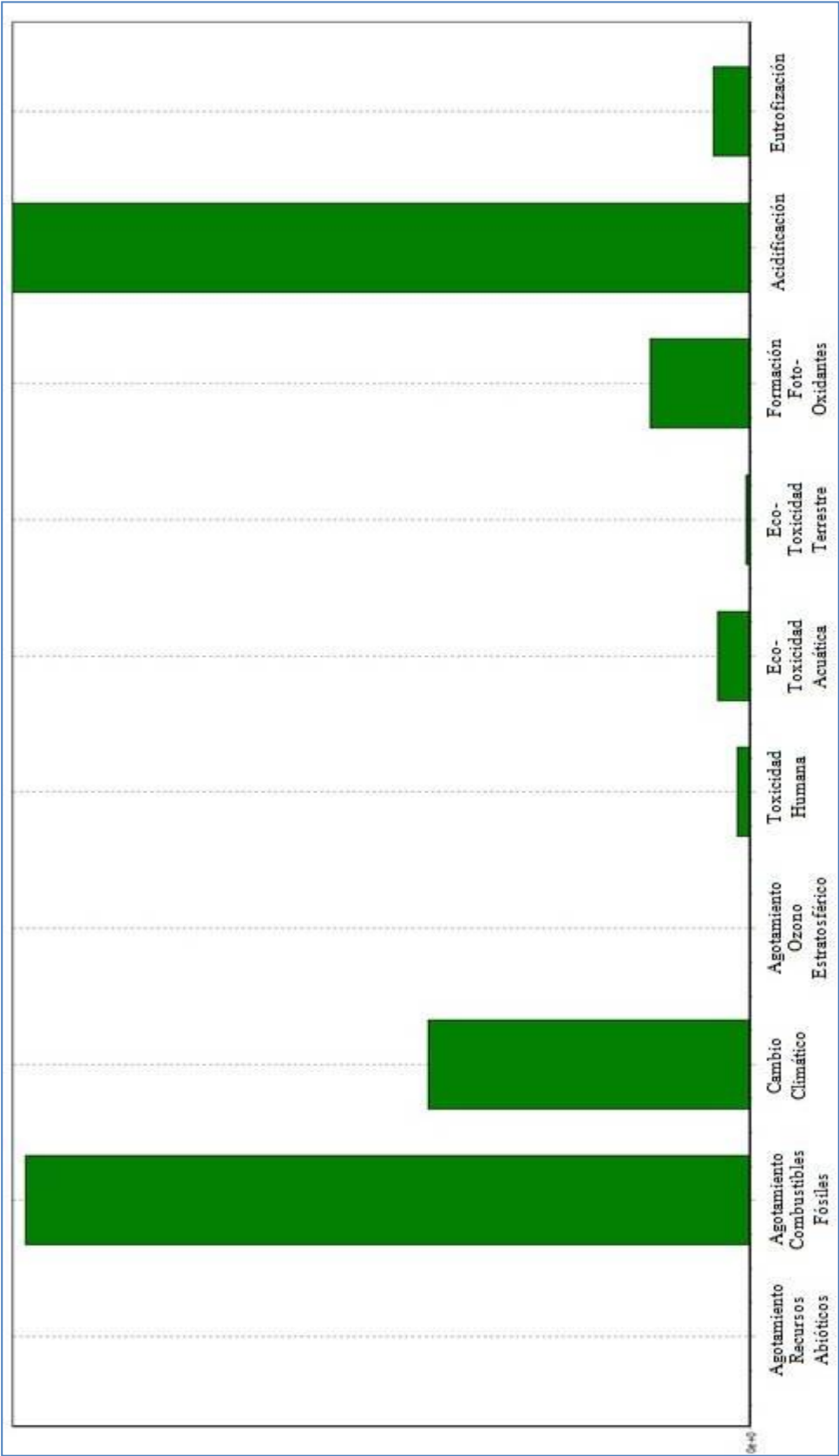


Figura 6.21 Perfil medioambiental del consumo eléctrico. Fuente: Elaboración propia

| Categoría de impacto | CONSUMO ELECTRICO |
|----------------------------------|-------------------|
| Agotamiento recursos abióticos | 2,43E-16 |
| Agotamiento combustibles fósiles | 1,42E-13 |
| Cambio climático | 6,31E-14 |
| Agotamiento ozono | 2,40E-16 |
| Toxicidad humana | 2,50E-15 |
| Ecotoxicidad acuática | 6,32E-15 |
| Ecotoxicidad marina | 3,97E-13 |
| Ecotoxicidad terrestre | 9,50E-16 |
| Formación foto-oxidantes | 1,96E-14 |
| Acidificación | 1,45E-13 |
| Eutrofización | 7,33E-15 |

Tabla 6.27 Valores de normalización de los impactos ambientales del consumo eléctrico. Fuente: Elaboración propia

6.5. Fin de vida

En este estudio no se tiene en cuenta la demolición de la planta incineradora de RSU. Por otro lado, no se introduce dentro de nuestro sistema de trabajo el tratamiento de la escoria ni de las cenizas. El tratamiento de las aguas residuales se realiza en una estación de depuración de aguas situada fuera de la planta incineradora.

6.6. Evaluación de impacto de la incineradora de RSU de nuestro trabajo

Una vez que se ha utilizado la pormenorización de cada una de las etapas de la incineradora de RSU, se va a realizar el ACV de la incineradora que nos ocupa considerando todo el conjunto (fabricación, montaje, uso). Se estima que la vida útil de la instalación será de 25 años. La evaluación, como se ha hecho en los apartados anteriores, se realiza con el software SimaPro 8.0.3, usando la metodología CML-IA baseline 3.01, con los indicadores del punto medio.

En la selección de las categorías de impacto, los indicadores de categorías y los modelos de caracterización se tendrán en cuenta las recomendaciones de la norma UNE-EN-ISO 14044:2006.

En proceso de incineración se compone de los siguientes subprocesos:

- Generación de energía, que corresponde al conjunto de la incineradora.
- Infraestructura
- Materiales auxiliares
- Residuos
- A estos procesos hay que añadir el consumo eléctrico de la planta, que se produce sólo en paradas y arranques de la misma.

6.6.1. Composición de los RSU

La composición elemental de los RSU (es decir, la fracción de C, H, N, S y O) es la contenida en la Tabla 6.28. Estos resultados, pueden ser considerados típico para la mayoría de las ciudades europeas.

| RESIDUOS | Masa total (%) | Humedad (%) | Cenizas (%) | C (%) | H (%) | N (%) | S (%) | O (%) |
|-------------------------------|----------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Materia orgánica | 49,11 | 70 | 5 | 48 | 6,4 | 2,6 | 0,4 | 37,6 |
| Papel-cartón | 23,86 | 10,2 | 6,0 | 43,5 | 6,0 | 0,3 | 0,2 | 44,0 |
| Plásticos | 13,09 | 0,2 | 10,0 | 60,0 | 7,2 | 0,0 | 0,0 | 22,8 |
| Vidrio | 7,80 | 2,0 | 98,9 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,4 |
| Materiales férricos | 4,50 | 2,0 | 90,5 | 4,5 | 0,6 | 0,1 | 0,0 | 4,3 |
| Materiales no férricos | 0,68 | 2,0 | 90,5 | 4,5 | 0,6 | 0,1 | 0,0 | 4,3 |
| Madera | 0,96 | 1,5 | 2,4 | 49,4 | 5,7 | 0,2 | 0,0 | 42,3 |

Tabla 6.28 Composición del RSU. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la suposición de carga cero de los RSU (apartado 6.1.4), y teniendo en cuenta los resultados de la Tabla 6.28, una tonelada de residuos, que corresponde a la UF del ACV, está compuesta sólo de materia prima según la Tabla 6.29.

| RESIDUOS | Masa total (kg) | Cenizas (kg) | C (kg) | H (kg) | N (kg) | S (kg) | O (kg) |
|------------------------|-----------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Materia orgánica | 491,1 | 24,55 | 235,73 | 31,43 | 12,78 | 1,96 | 184,65 |
| Papel-cartón | 238,6 | 14,32 | 103,79 | 14,32 | 0,72 | 0,48 | 104,98 |
| Plásticos | 130,9 | 13,09 | 78,54 | 9,42 | 0,0 | 0,0 | 29,85 |
| Vidrio | 78,0 | 77,14 | 0,39 | 0,078 | 0,078 | 0,0 | 0,31 |
| Materiales férricos | 45,0 | 40,75 | 2,02 | 0,27 | 0,045 | 0,0 | 1,93 |
| Materiales no férricos | 6,8 | 6,15 | 0,31 | 0,041 | 0,007 | 0,0 | 0,29 |
| Madera | 9,6 | 0,23 | 4,74 | 0,55 | 0,019 | 0,0 | 4,06 |

Tabla 6.29 Composición de 1 Tn de RSU. Fuente: Elaboración propia (Con los datos de la EMPRESA 1)

6.6.2. Emisiones

Las medidas de concentraciones de las sustancias de la Tabla 6.30 son convertidas en unidades de concentración mg/Nm^3 , monitorizadas y registradas mediante una unidad de tratamiento informático según especificaciones del apartado 4.3.3.4.

Estas unidades de concentración son convertidas en $\text{g}/\text{Tn. RSU}$ (Tabla 6.30), considerando que el caudal medio de la instalación es de $25.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ y el funcionamiento anual de la planta es de 8.000 h, suprimiendo las horas de parada de la misma. La conversión viene expresada por la ecuación Ec. 6.4.

$$1 \text{ g}/\text{Tn. RSU} = \frac{1.000}{8.000 \times 25.000} \times \text{Tn. RSU (mg}/\text{Nm}^3) \quad \text{Ec. 6.4}$$

Dado que la cantidad media incinerada de RSU es de 47.688,976 Tn, obtenemos que:

$$1 \text{ g}/\text{Tn. RSU} = 0,2384 \text{ mg}/\text{Nm}^3$$

| Contaminante | mg/Nm ³ | g/Tn.RSU |
|-------------------------------|--------------------|------------|
| HCl | 2,5400 | 10,6524 |
| SO ₂ | 1,5500 | 6,5005 |
| CO ₂ | 157,4500 | 660,3203 |
| NO _x | 311,8900 | 1.308,0172 |
| CO | 12,6100 | 52,8843 |
| COT | 3,9300 | 16,4818 |
| NH ₃ | 0,6200 | 2,6002 |
| HF | 0,6600 | 2,7679 |
| Partículas | 2,6200 | 10,9879 |
| Hg | 0,0012 | 0,0050 |
| Pb ²⁹ | 0,1200 | 0,5033 |
| Cd+Tl | 0,0240 | 0,1007 |
| As | 0,0240 | 0,1007 |
| Dioxina (µg/Tn.RSU) | | 0,3000 |
| Aguas residuales en kg/Tn.RSU | | 1,5000 |

Tabla 6.30 Factores de emisión de contaminante en incinerador. Fuente: Elaboración propia (con los datos de la EMPRESA 1)

6.6.3 Evaluación de impactos de la incineradora de RSU

El efecto de calentamiento global en la incineración de residuos es un resultado de la combustión de carbono fósil en RSU, p. ej., caucho y plástico. El mayor impacto producido en esta categoría es debido al consumo de materiales auxiliares.

Las emisiones de NO_x, HCl y SO₂ liberadas durante la incineración de residuos caracterizan la acidificación. En esta categoría, el impacto producido por el uso de materiales auxiliares en el proceso de incineración de RSU es mayor que el correspondiente a dichas emisiones.

El mayor impacto ambiental es producido por el consumo eléctrico en la planta, durante las paradas y arranques, en las categorías de agotamiento de recursos abióticos y combustibles fósiles debido a que el sistema eléctrico de la ciudad se basa en el fuel. Por lo tanto una solución a este problema sería cambiar el mix eléctrico de la ciudad.

²⁹ Pb y As corresponden al valor de la cantidad combinada de Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V.

Además es conveniente reducir el número de paradas de planta al año y parar sólo en casos muy necesarios para disminuir el daño tanto en las instalaciones como al medio ambiente.

El peor perfil ambiental que presentan las emisiones durante el proceso de incineración de residuos con recuperación de energía, corresponde, en primer lugar a la eutrofización, debido a la emisiones de N_2 , NH_3 y NO_x . En segundo lugar se encuentra la toxicidad humana, debido a las emisiones de metales pesados y dioxinas. En el último lugar, encontramos la eco-toxicidad marina y la formación de foto-oxidantes que corresponden a las emisiones de CO , NO , NO_2 y los compuestos orgánicos volátiles.

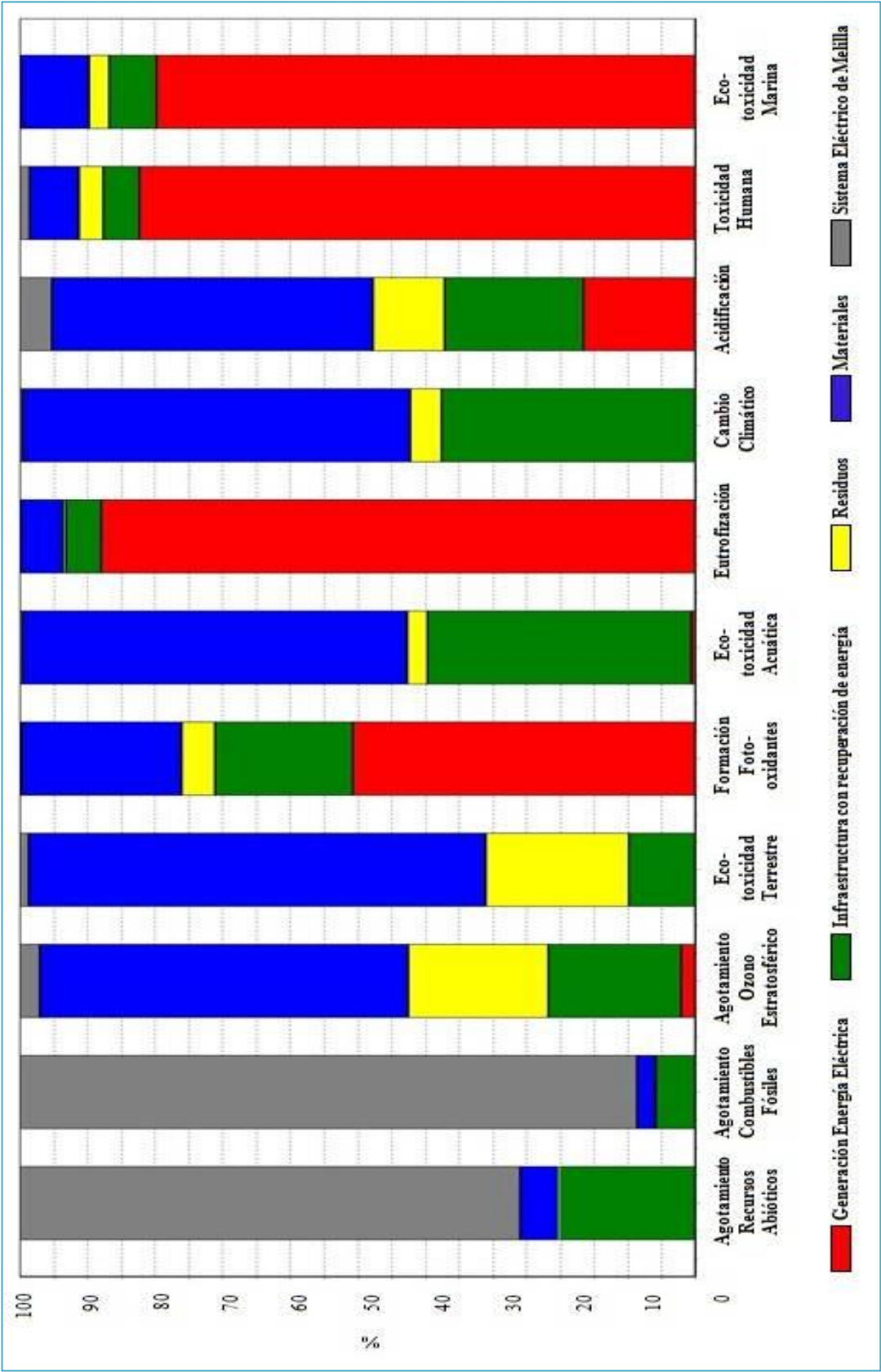


Figura 6.22 Caracterización impactos ambientales incineradora de RSU con recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia

| ATEGORIA DE IMPACTO | UNIDAD | TOTAL | GENERACION ENERGIA ELECTRICA | INFRAESTR. C/ RECUP. ENERGIA | RESIDUOS | MATERIALES | SISTEMA ELECTRICO MELILLA |
|--------------------------|---------------------------------------|----------|------------------------------|------------------------------|----------|------------|---------------------------|
| Agot. recur. abióticos | kg Sb eq. | 3,16E-10 | 0,00E+00 | 6,39E-11 | 0,00E+00 | 1,81E-11 | 2,34E-10 |
| Agot. comb. fósiles | MJ | 5,56E-02 | 0,00E+00 | 3,22E-03 | 8,04E-05 | 1,54E-03 | 5,08E-02 |
| Cambio climático | kg CO ₂ eq.. | 1,19E-01 | 2,49E-03 | 2,33E-02 | 2,46E-02 | 6,48E-02 | 3,60E-03 |
| Agotamiento ozono | kg CFC-11 eq.. | 1,75E-08 | 0,00E+00 | 1,73E-09 | 3,69E-09 | 1,18E-08 | 2,43E-10 |
| Toxicidad humana | kg 1,4-DB eq.. | 7,03E-02 | 3,56E-02 | 1,44E-02 | 3,47E-03 | 1,66E-02 | 2,20E-04 |
| Eco-toxicidad acuática | kg 1,4-DB eq.. | 8,86E-03 | 4,83E-05 | 3,47E-03 | 2,61E-04 | 5,05E-03 | 3,72E-05 |
| Eco-toxicidad marina | kg 1,4-DB eq.. | 4,82E+02 | 4,24E+02 | 2,52E+01 | 1,67E+00 | 3,06E+01 | 5,26E-01 |
| Eco-toxicidad terrestre | kg 1,4-DB eq. | 1,11E-04 | 3,07E-08 | 4,15E-05 | 5,22E-06 | 6,35E-05 | 5,24E-07 |
| Formación foto-oxidantes | kg C ₂ H ₄ eq.. | 3,97E-05 | 6,55E-06 | 8,16E-06 | 4,23E-06 | 1,89E-05 | 1,89E-06 |
| Acidificación | kg SO ₂ eq.. | 3,05E-03 | 2,51E-03 | 1,64E-04 | 1,09E-04 | 2,23E-04 | 4,63E-05 |
| Eutrofización | kg PO ₄ --- eq.. | 8,07E-04 | 6,43E-04 | 5,64E-05 | 2,50E-05 | 8,14E-05 | 1,10E-06 |

Tabla 6.31 Caracterización impactos ambientales de RSU con recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia

El resultado de evaluación del análisis normalizado que muestran tanto la Figura 6.22 como la Tabla 6.31, demuestran que el mayor peso de impacto ambiental de la incineradora de residuos corresponde a las categorías de acidificación y de eutrofización, debido sobre todo a las emisiones al aire, y los contaminantes arrastrados por las cenizas de fondo, la escoria y las cenizas volantes.

Se puede observar que la categoría de impacto de eco-toxicidad marina no se encuentra representada en la Figura 6.23, por su elevado valor de 4,13 E-12 con respecto a las demás categoría.

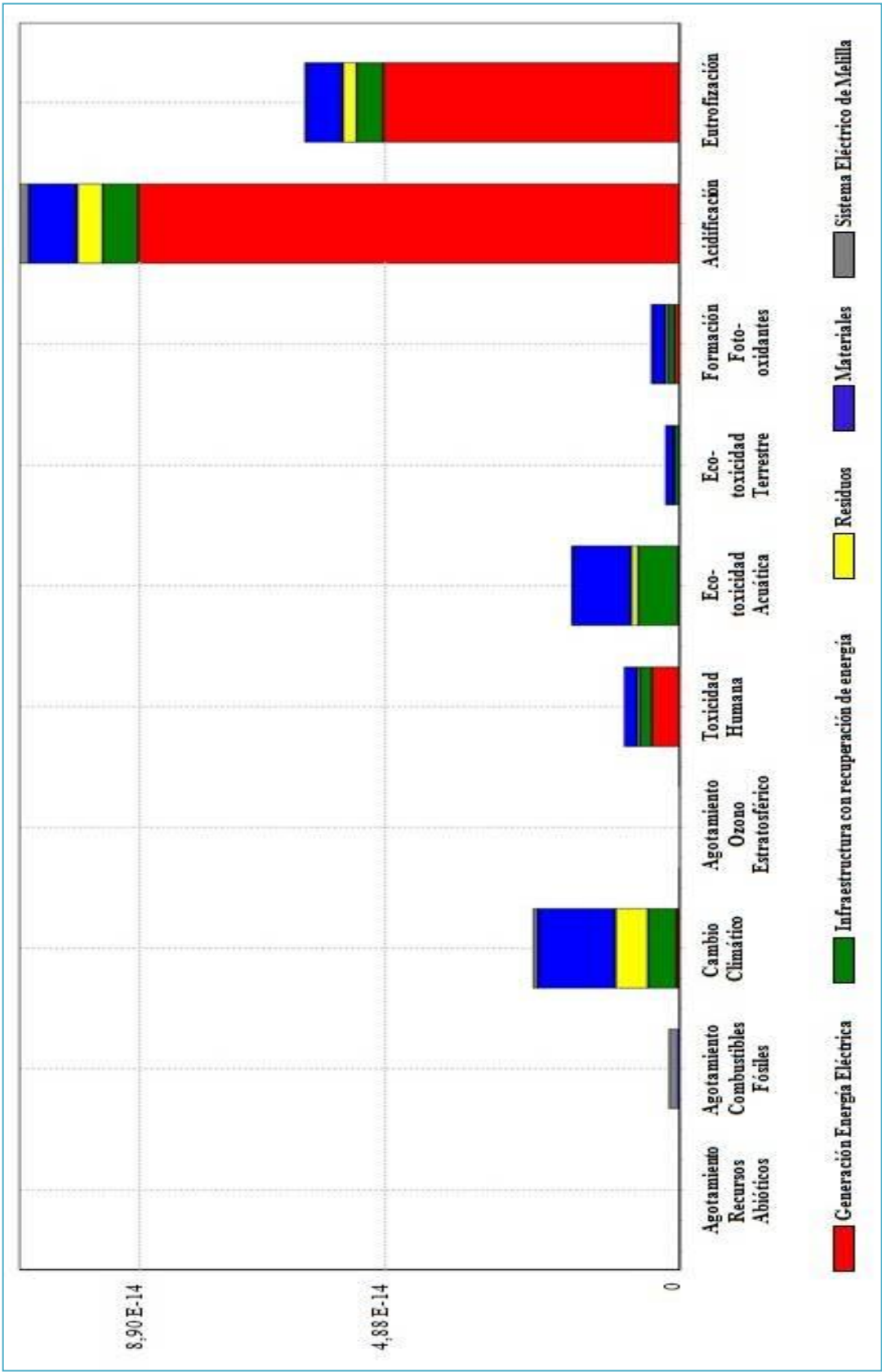


Figura 6.23 Normalización impactos ambientales incineradora de RSU con recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia

| CATEGORIA DE IMPACTO | TOTAL | GENERACION ENERGIA ELECTRICA | INFRAESTR. C/ RECUPE. ENERGIA | RESIDUOS | MATERIALES | SISTEMA ELECTRICO MELILLA |
|--------------------------|----------|------------------------------|-------------------------------|----------|------------|---------------------------|
| Agot. recur. abióticos | 3,73E-18 | 0 | 7,54E-19 | 0 | 2,14E-19 | 2,76E-18 |
| Agot. comb. fósiles | 1,77E-15 | 0 | 1,03E-16 | 2,56E-18 | 4,89E-17 | 1,62E-15 |
| Cambio climático | 2,36E-14 | 4,95E-16 | 4,64E-15 | 4,89E-15 | 1,29E-14 | 7,17E-16 |
| Agotamiento ozono | 1,96E-16 | 0 | 1,94E-17 | 4,13E-17 | 1,32E-16 | 2,72E-18 |
| Toxicidad humana | 9,07E-15 | 4,59E-15 | 1,85E-15 | 4,48E-16 | 2,14E-15 | 2,84E-17 |
| Eco-toxicidad acuática | 1,71E-14 | 9,33E-17 | 6,7E-15 | 5,05E-16 | 9,74E-15 | 7,18E-17 |
| Eco-toxicidad marina | 4,13E-12 | 3,63E-12 | 2,16E-13 | 1,43E-14 | 2,63E-13 | 4,51E-15 |
| Eco-toxicidad terrestre | 2,28E-15 | 6,33E-19 | 8,56E-16 | 1,08E-16 | 1,31E-15 | 1,08E-17 |
| Formación foto-oxidantes | 4,68E-15 | 7,73E-16 | 9,63E-16 | 4,99E-16 | 2,23E-15 | 2,23E-16 |
| Acidificación | 1,08E-13 | 8,9E-14 | 5,82E-15 | 3,86E-15 | 7,93E-15 | 1,64E-15 |
| Eutrofización | 6,12E-14 | 4,88E-14 | 4,28E-15 | 1,9E-15 | 6,17E-15 | 8,33E-17 |

Tabla 6.32 Normalización impactos ambientales incineradora de RSU con recuperación de energía.

Fuente: Elaboración propia

La mayor parte de los impactos en la salud humana viene dada por la disposición de vertido de residuos de la incineración (escoria y cenizas), debido principalmente a la liberación en el suelo y las aguas subterráneas de sustancias tóxicas. Por lo tanto conviene tratar estos vertidos, resultantes de la incineración de RSU. Los procesos de tratamiento de estos residuos no se incluyen en los límites del presente ACV, sólo se incluye su vertido en la planta de incineración.

Si nos fijamos en la Figura 6.22 podemos ver que la carga ambiental del consumo de combustible de los vehículos de transporte de RSU a la planta no se refleja en la categoría de agotamiento de combustibles fósiles, por lo que su contribución es menos importante, respecto a otros procesos, debido a las cortas distancias de recorrido de los camiones de recogida de basuras. Hay que recordar que la recogida de residuos a la planta incineradora está fuera de los límites del presente ACV, pero su transporte y destino final sí se han considerado.

| Categoría de impacto | Unidad | Total | ENERGIA | INFRA- | CONSUMO | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|----------|-----------|----------|---------|------|-----------|
| | | | ELECTRICA | ESTRUCT. | RSU | MAT. | ELECTRICO |
| Agotamiento recursos abióticos | kg Sb eq. | 3,16E-10 | 0% | 20% | 0% | 6% | 74% |
| Agotamiento combustibles fósiles | MJ | 5,56E-02 | 0% | 6% | 0% | 3% | 91% |
| Cambio climático | kg CO ₂ eq. | 1,19E-01 | 2% | 20% | 21% | 55% | 3% |
| Agotamiento ozono | kg CFC-11 eq. | 1,75E-08 | 0% | 10% | 21% | 68% | 1% |
| Toxicidad humana | kg 1,4-DB eq. | 7,03E-02 | 51% | 20% | 5% | 24% | 0% |
| Ecotoxicidad acuática | kg 1,4-DB eq. | 8,86E-03 | 1% | 39% | 3% | 57% | 0% |
| Ecotoxicidad marina | kg 1,4-DB eq. | 4,82E+02 | 88% | 5% | 0% | 6% | 0% |
| Ecotoxicidad terrestre | kg 1,4-DB eq. | 1,11E-04 | 0% | 37% | 5% | 57% | 0% |
| Formación foto-oxidantes | kg C ₂ H ₄ eq. | 3,97E-05 | 16% | 21% | 11% | 48% | 5% |
| Acidificación | kg SO ₂ eq. | 3,05E-03 | 82% | 5% | 4% | 7% | 2% |
| Eutrofización | kg PO ₄ --- eq. | 8,07E-04 | 80% | 7% | 3% | 10% | 0% |

Tabla 6.33 Evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en (%). Fuente: Elaboración propia

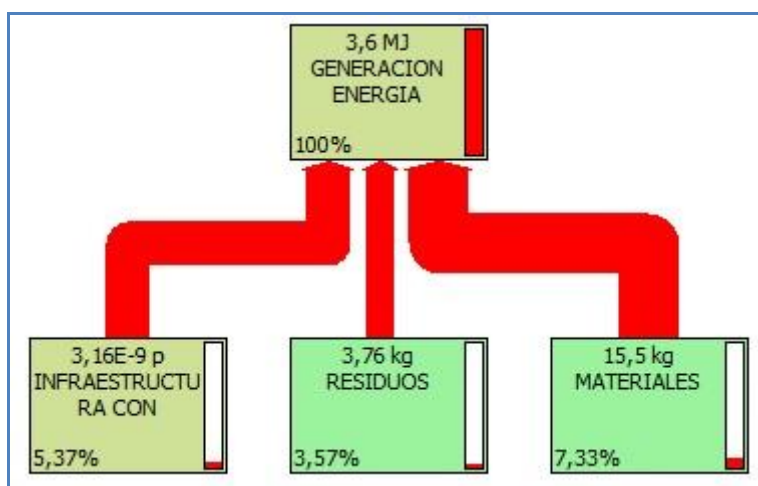


Figura 6.24 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de acidificación. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6.24 se ve que los mayores impactos ambientales en la categoría de acidificación corresponden a las emisiones de la planta, debido sobre todo a los gases ácidos como el ácido clorhídrico (HCl), el dióxido de azufre SO₂.

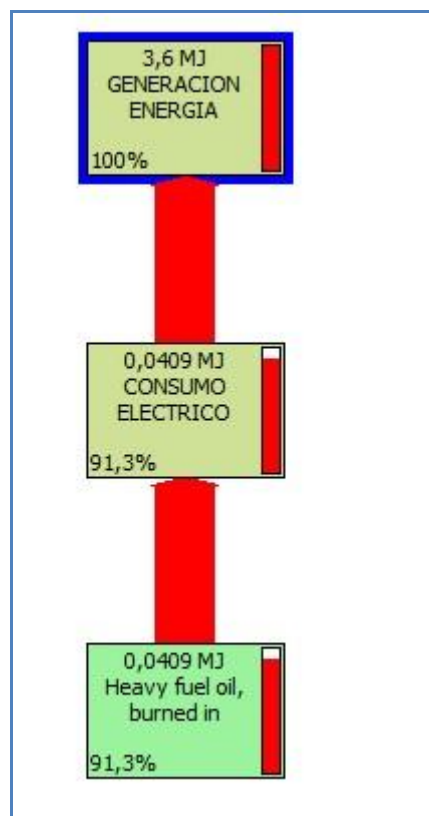


Figura 6.25 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de agotamiento de combustibles fósiles. Fuente: Elaboración propia

En el caso de la Figura 6.25, se observa que los impactos ambientales correspondientes a la categoría de agotamiento de combustibles fósiles recaen sobre el consumo eléctrico de la planta. Esto ocurre sólo en paradas y arranques de la misma.

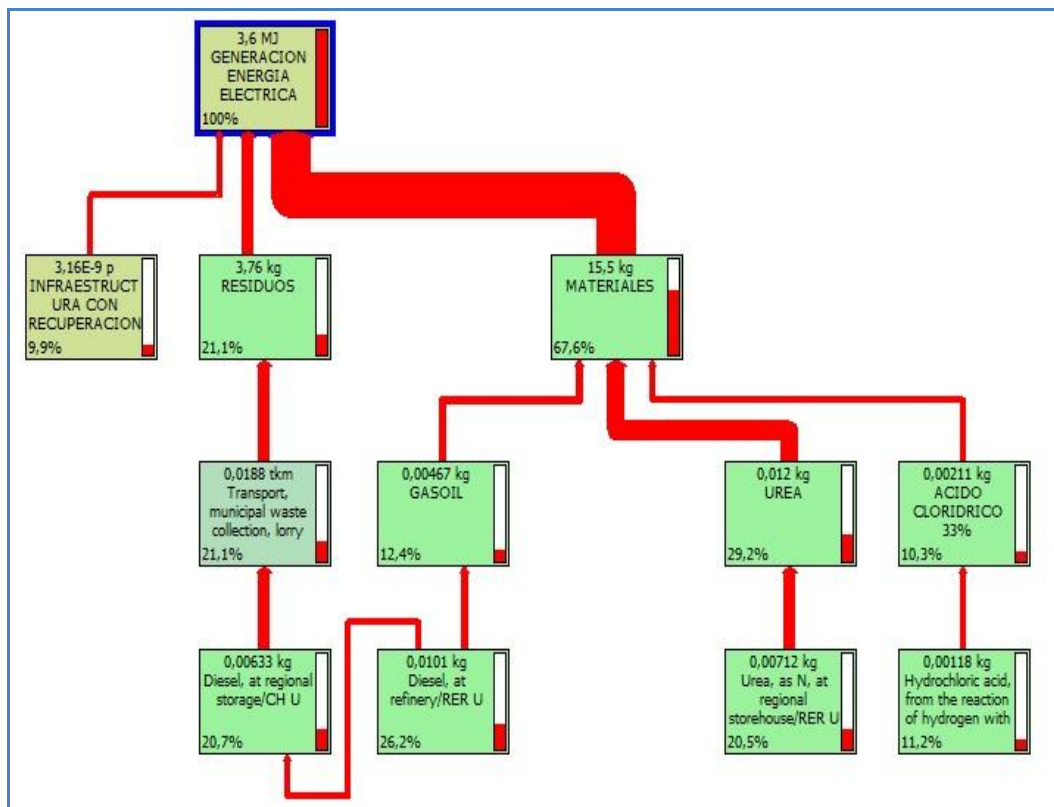


Figura 6.26 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de agotamiento de ozono. Fuente: Elaboración propia

En la categoría de agotamiento de ozono, el mayor impacto producido por la planta se debe al uso de los materiales auxiliares.

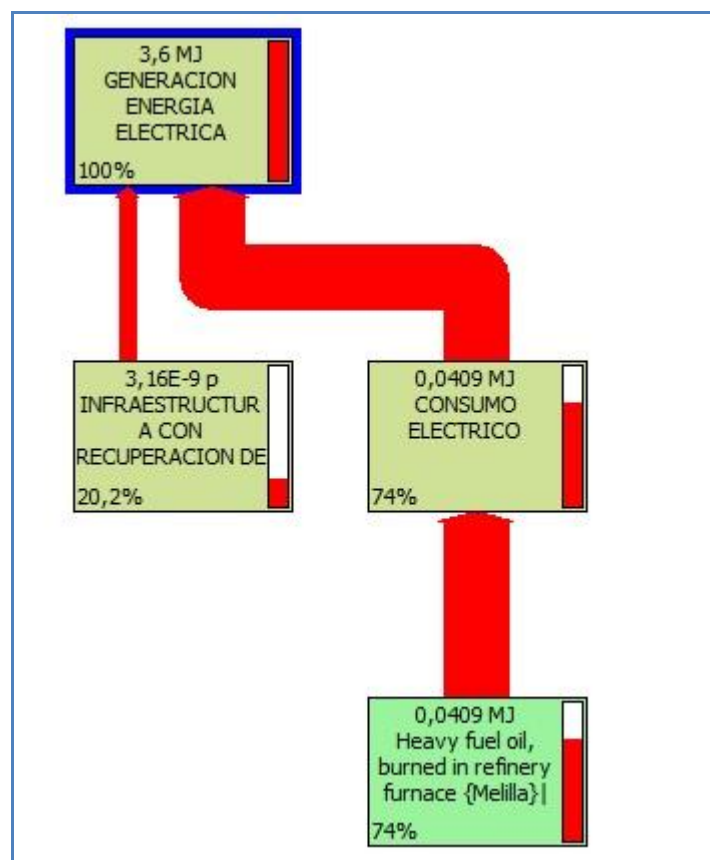


Figura 6.27 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineración de RSU en la categoría de agotamiento de recursos abióticos. Fuente: Elaboración propia

El mayor impacto ambiental producido por la incineradora en la categoría de agotamiento de recursos abióticos corresponde al consumo de electricidad en la planta, durante la paradas y arranques de la misma (Figura 6.27).

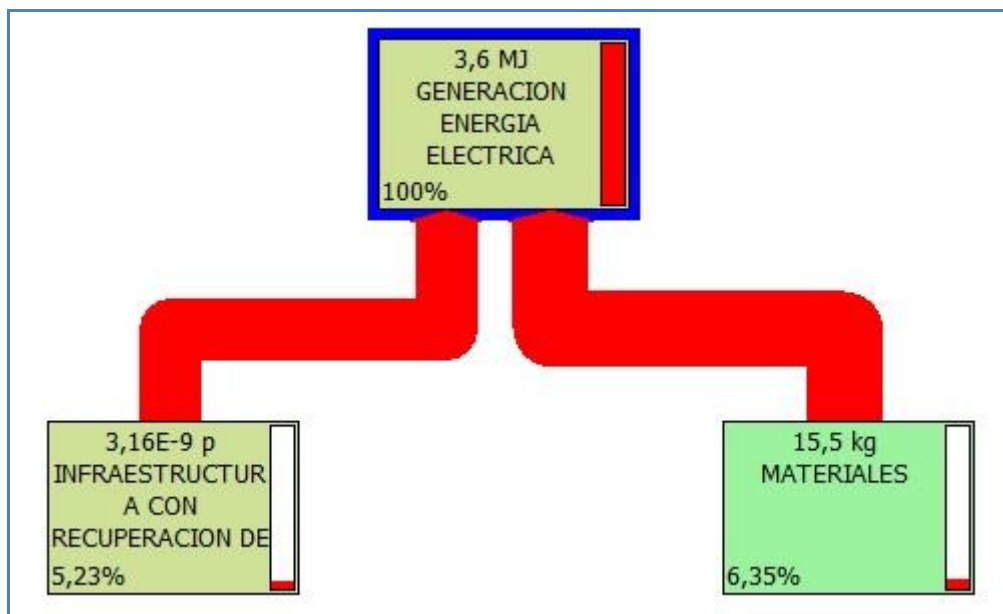


Figura 6.28 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de eco-toxicidad marina. Fuente: Elaboración propia

En la categoría de eco-toxicidad marina, las emisiones de la planta son las que más impactos ambientales presentan. Los contaminante que contribuyen a esta categoría son el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NOx) y los metales pesados.

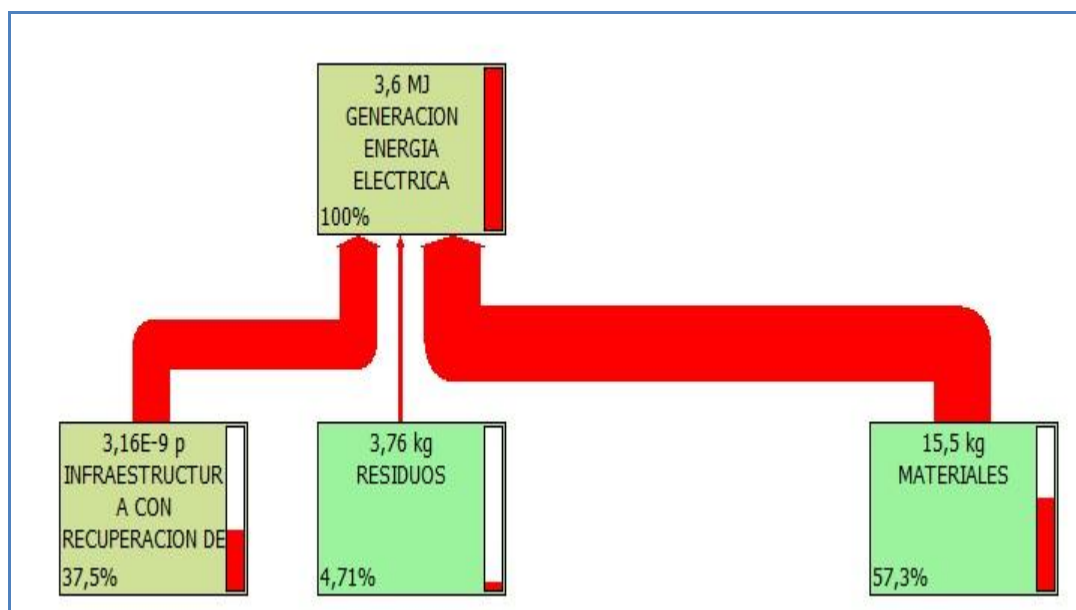


Figura 6.29 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de eco-toxicidad terrestre. Fuente: Elaboración propia

En la figura 6.29, se observa que los materiales auxiliares son los que más efectos tienen en los impactos ambientales relacionados con la eco-toxicidad terrestre.

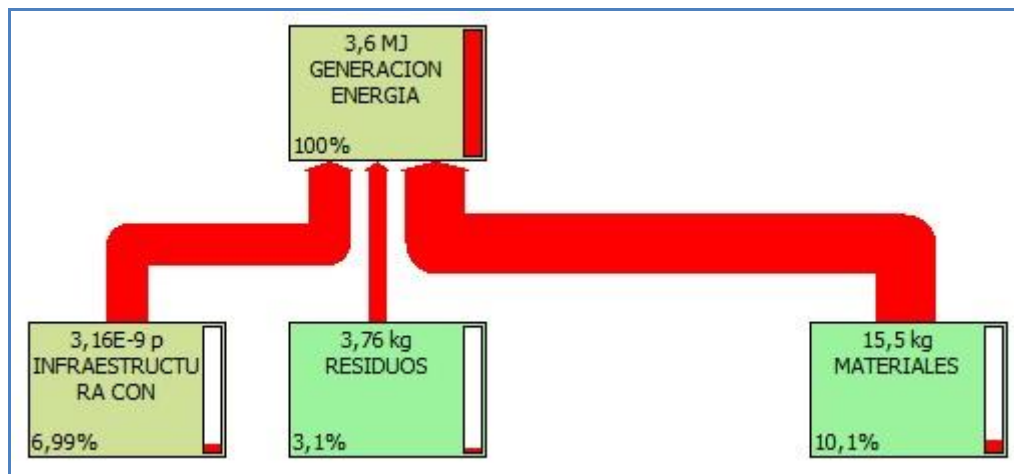


Figura 6.30 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de eutrofización. Fuente: Elaboración propia

La eutrofización se debe en gran medida a las emisiones nitrógeno (N_2), amoníaco (NH_3) y óxidos de nitrógeno (NO_x) (Figura 6.30).

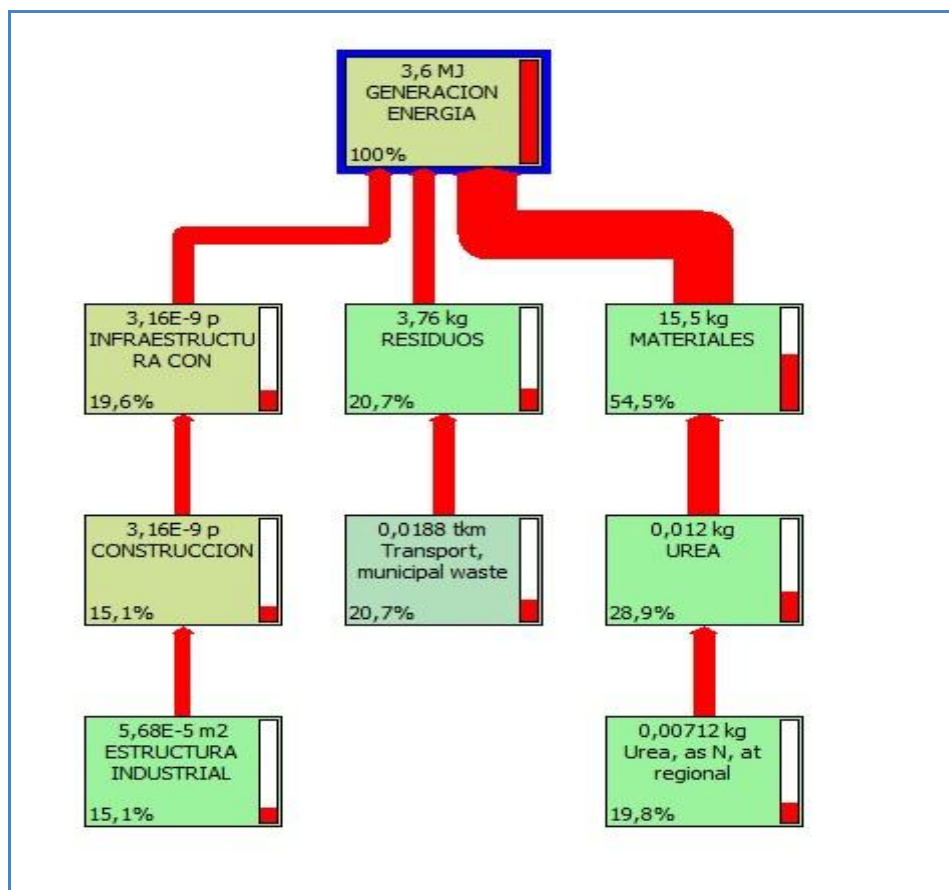


Figura 6.31 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de cambio climático. Fuente: Elaboración propia

Según la figura 6.31, la mayor contribución de la planta al cambio climático corresponde al uso de los materiales auxiliares.

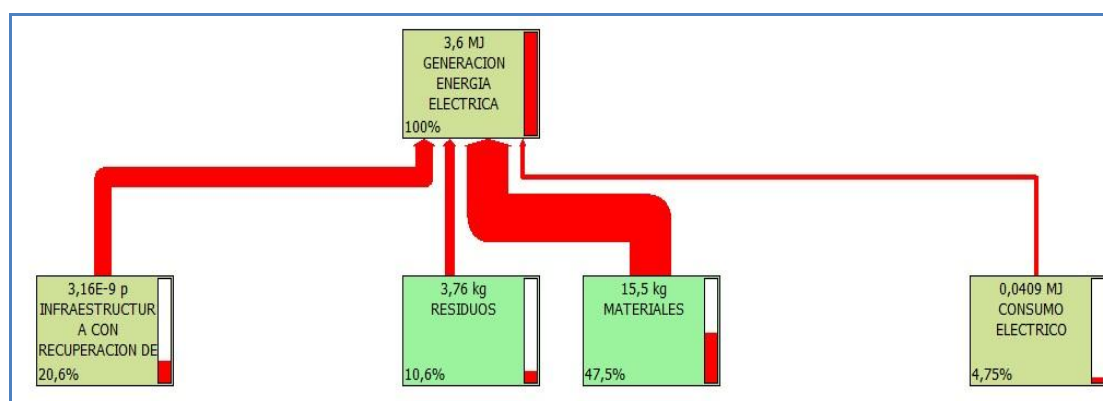


Figura 6.32 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de formación de foto-oxidantes. Fuente: Elaboración propia

Los mayores impactos ambientales de la incineradora de estudio relativos a la formación de foto oxidantes corresponde al uso de los materiales auxiliares.

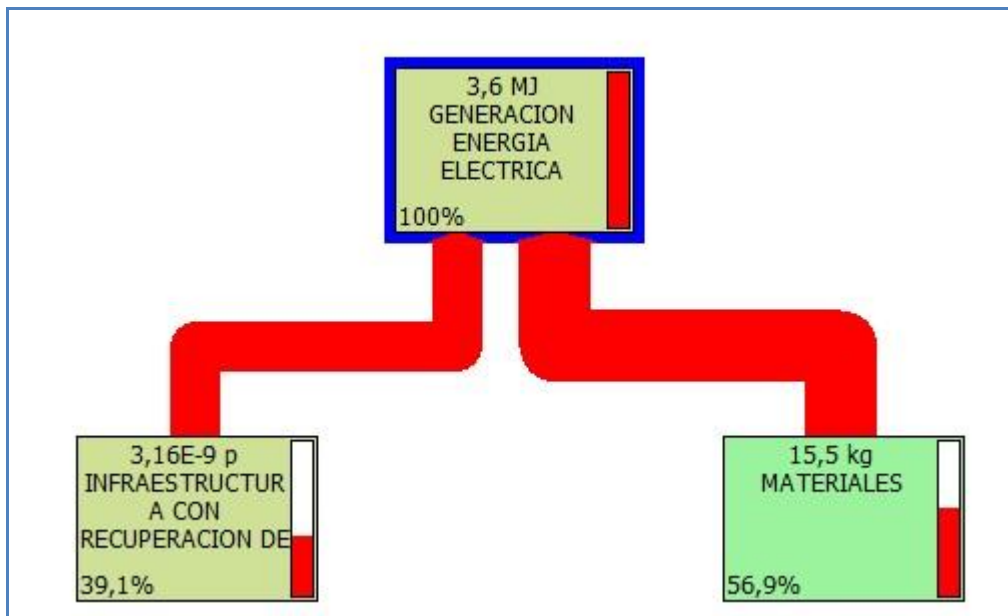


Figura 6.33 Árbol evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de eco-toxicidad acuática. Fuente: Elaboración propia

En el caso de la eco-toxicidad acuática, los mayores impactos ambientales producidos por la incineradora de RSU en esta categoría corresponde al uso de los materiales auxiliares.

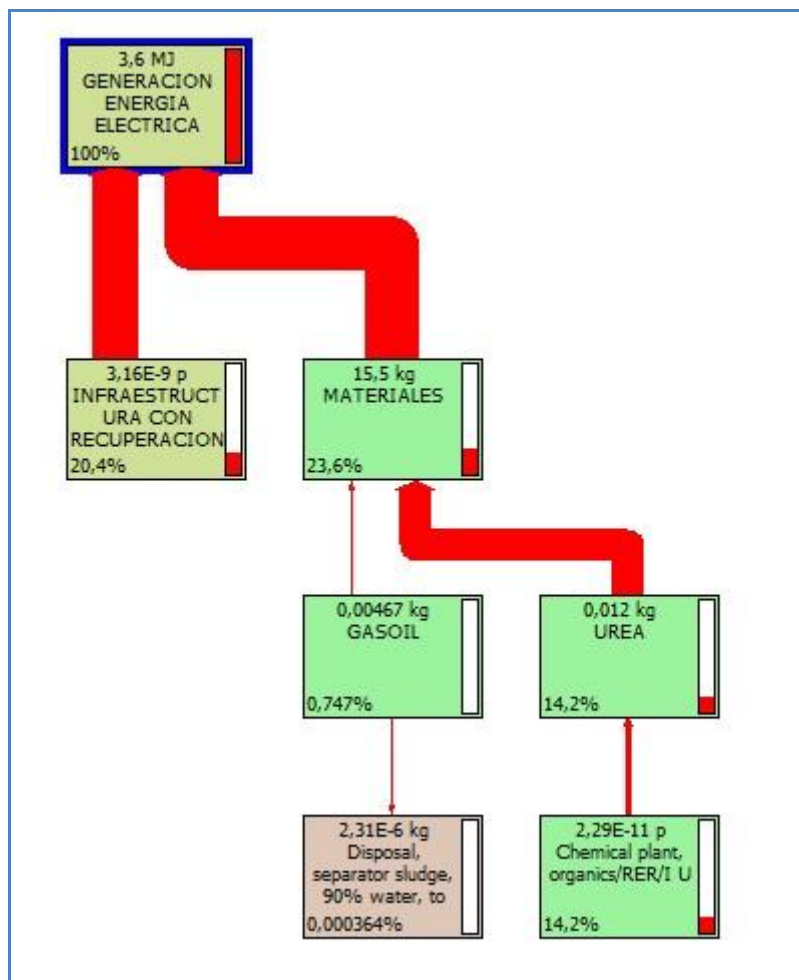


Figura 6.34 Árbol de evaluación de impactos ambientales de la incineradora de RSU en la categoría de toxicidad humana. Fuente: Elaboración propia

La toxicidad humana en la planta incineradora proviene sobre todo de las emisiones de la misma según se desprende de la Figura 6.34.

6.7. Comparativa de los impactos medioambientales de la incineradora de RSU con y sin recuperación de energía.

En esta parte de la investigación se comparan los perfiles medioambientales de la incineradora de RSU con y sin recuperación energética. Para ello en el segundo caso, el suministro eléctrico a la planta se consigue desde la red eléctrica correspondiente al mix eléctrico local que es a base de fuel. En los cálculos de evaluación de impactos ambientales se prescinde de los siguientes elementos, definidos en el apartado 6.2.4:

- Caldera
- Planta de tratamiento de agua
- Recuperación energética.

En el caso de la instalación con recuperación energética, ésta se auto abastece de electricidad de una parte de la energía producida a partir de los RSU, cuando la planta se encuentra a régimen normal de funcionamiento. Sólo en paradas o en los arranques se abastece de la red eléctrica exterior.

La Figura 6.35 representa los perfiles ambientales de la incineradora de RSU con y sin recuperación de energía. Se puede ver claramente, que los impactos ambientales de la instalación con recuperación energética son menores que los correspondientes a la misma instalación sin recuperación de energía. La Tabla 6.34 refleja esa diferencia en cifras.

La cantidad de energía eléctrica generada en la planta incineradora de RSU se ha evitado de producir por la central térmica local. De ahí el ahorro en los impactos medioambientales del proceso de incineración de RSU con recuperación energética obtenido en los resultados de esta comparativa.

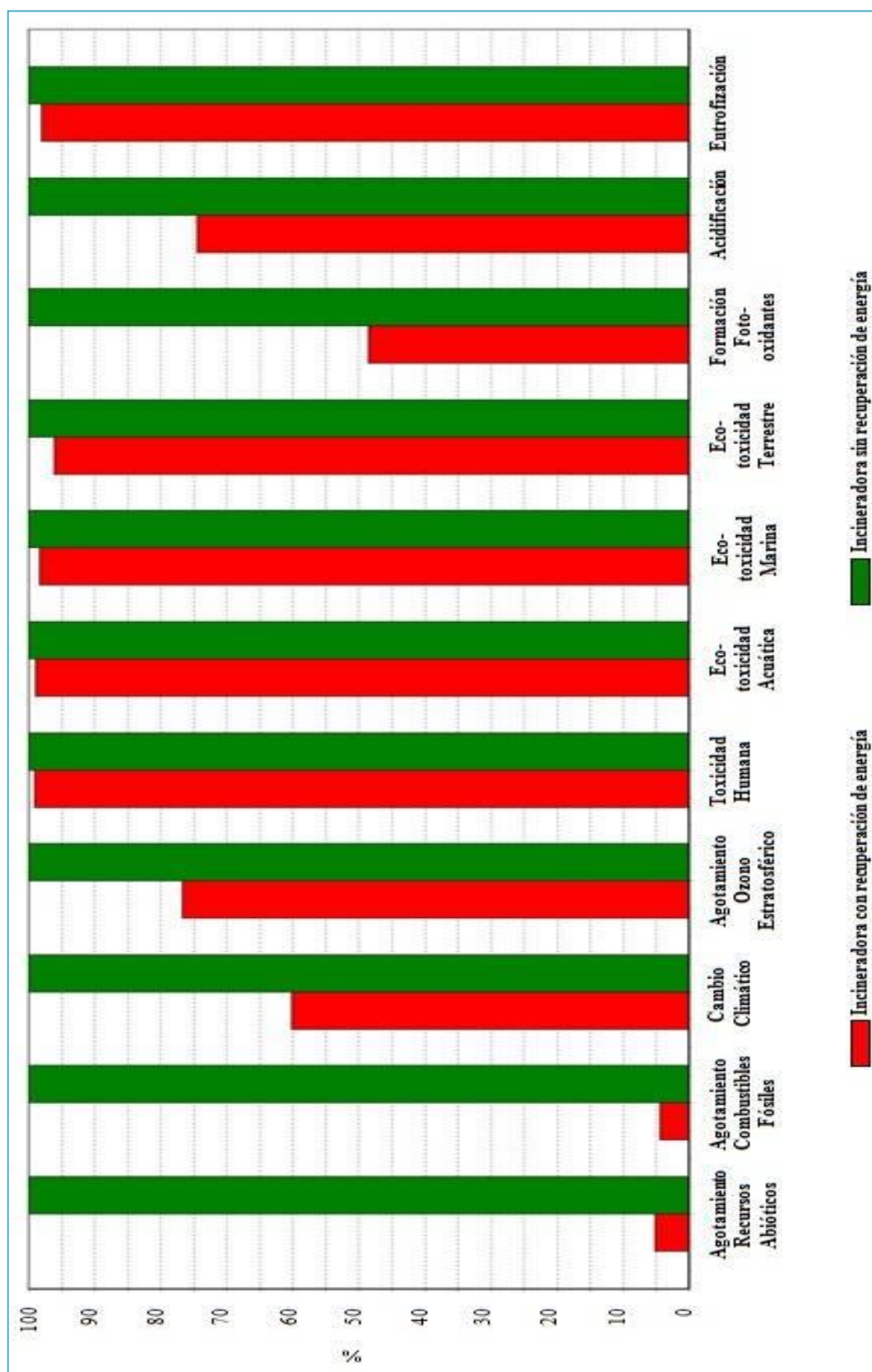


Figura 6.35 Comparativa caracterización impactos de incineradora de RSU con y sin recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia

| ATEGORIA DE IMPACTO | UNIDAD | INCINERADORA CON RECUPERACION DE ENERGIA | INCINERADORA SIN RECUPERACION DE ENERGIA |
|----------------------------------|--------------------------------------|--|--|
| Agotamiento recursos abióticos | kg Sb eq. | 8,39E-08 | 1,51E-06 |
| Agotamiento combustibles fósiles | MJ | 1,48E+01 | 3,26E+02 |
| Cambio climático | kg CO ₂ eq. | 3,16E+01 | 5,28E+01 |
| Agotamiento ozono | kg CFC-11 eq. | 4,64E-06 | 6,07E-06 |
| Toxicidad humana | kg 1,4-DB eq. | 1,87E+01 | 1,89E+01 |
| Eco-toxicidad acuática | kg 1,4-DB eq. | 2,36E+00 | 2,38E+00 |
| Eco-toxicidad marina | kg 1,4-DB eq. | 1,28E+05 | 1,30E+05 |
| Eco-toxicidad terrestre | kg 1,4-DB eq. | 2,94E-02 | 3,07E-02 |
| Formación foto-oxidantes | kg C ₂ H ₄ eq. | 1,05E-02 | 2,19E-02 |
| Acidificación | kg SO ₂ eq. | 8,10E-01 | 1,09E+00 |
| Eutrofización | kg PO ₄ --- eq. | 2,15E-01 | 2,19E-01 |

Tabla 6.34 Comparativa caracterización impacto de incineradora de RSU con y sin recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia

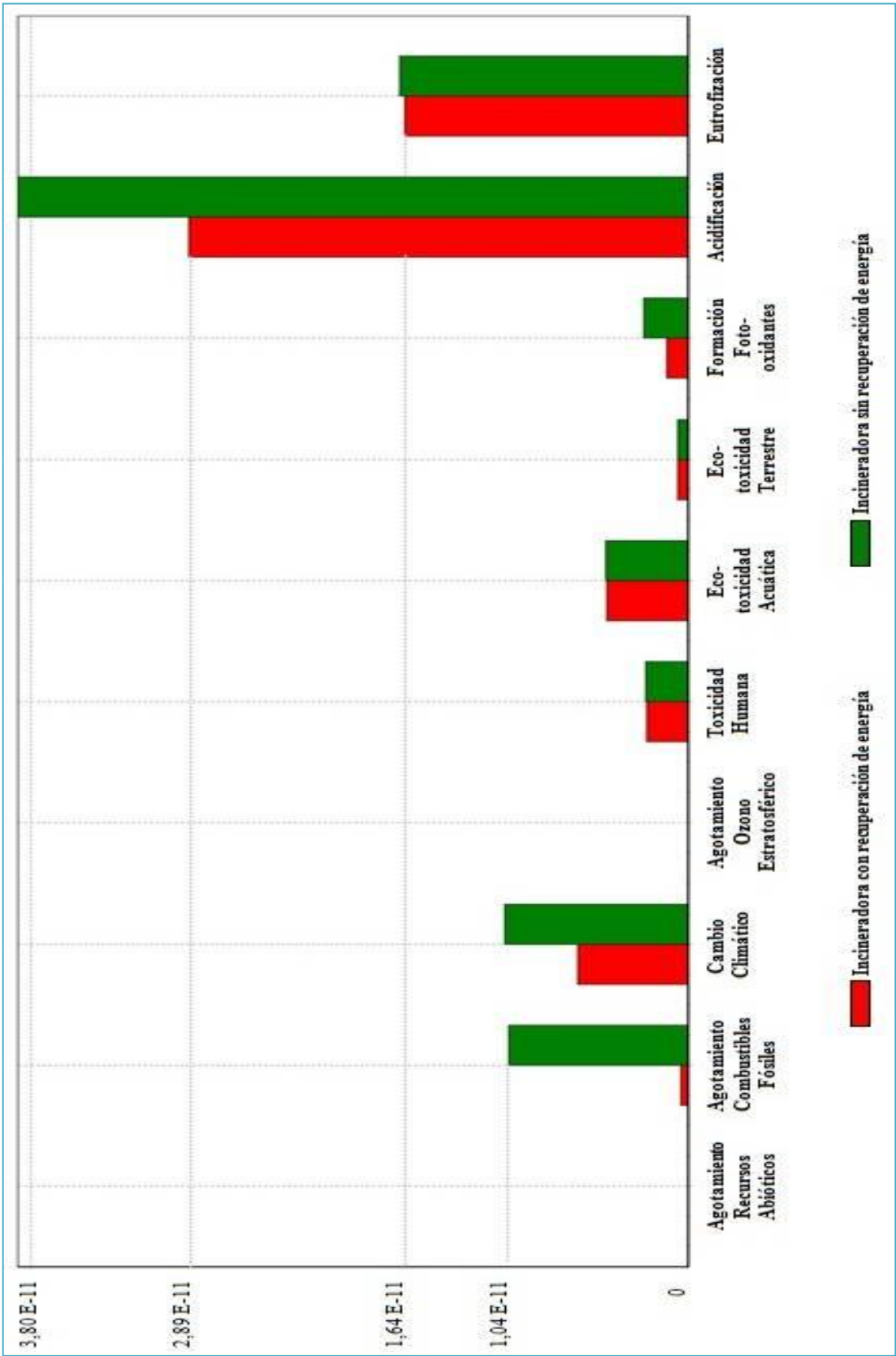


Figura 6.36 Comparativa normalización impacto incineradora de RSU con y sin recuperación de energía. Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la Tabla 6.34, los valores de menor impacto corresponden a las emisiones de la incineradora de residuos con recuperación de energía. La mayor diferencia entre ambas instalaciones reside en las categorías del agotamiento de recursos abióticos y del cambio climático, relacionadas con el mix de generación eléctrica de la ciudad.

En cuanto a la categoría de mayor impacto en ambas instalaciones y con mucha diferencia con el resto de categorías corresponde a la eco-toxicidad marina.

6.8. Interpretación de la EICV.

El paso final tras la evaluación del CV, es la interpretación de los resultados. Esto incluye sacar conclusiones y hacer recomendaciones a partir del análisis de inventario y/o evaluación de impacto. Es en esta etapa que las áreas de mejoras identificadas o carencia observadas son identificadas y analizadas (UNE-EN-ISO 14044). En esta Tesis, esta etapa se realizará en el Capítulo 7. En él se identifican los problemas, se sacarán las conclusiones y recomendaciones de la incineradora de RSU.

Capítulo 7

Conclusiones y futuras líneas de investigación

7.1. Conclusiones

El objetivo de esta investigación ha sido el de evaluar los impactos ambientales de la incineradora de RSU, para identificar los procesos y materiales con mayor impacto y poder proponer las mejoras adecuadas.

Además se ha comparado los impactos ambientales de la incineradora de RSU con y sin recuperación de energía.

A continuación se presentan las conclusiones extraídas de los resultados obtenidos en esta tesis.

El peor perfil ambiental de la incineradora de RSU en la categoría de ecotoxicidad marina corresponde a las emisiones de contaminantes (88%), metales pesados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno. En la eutrofización su contribución al impacto ambiental es de 80 %. Esta categoría se caracteriza por el nitrógeno (N_2), el amoníaco (NH_3) y los óxidos de nitrógeno (NO_x). En la toxicidad humana los impactos ambientales que presentan estas emisiones son del (56 %).

Una de las actuaciones fundamentales será reducir las emisiones de NO_x . Para hacer esto, proponemos, además de instalar un sistema de reducción selectivo no catalítico (SNCR), como el caso de la incineradora de estudio, que se recircule en la cámara de post-combustión los gases extraídos a la salida de la caldera para controlar la cantidad de oxígeno en el horno. Otra ventaja de esta opción es la de mejorar la refrigeración de la parrilla, lo que redundaría en una mayor vida útil porque todo el aire de combustión se aportaría a la misma.

En la escoria y las cenizas se arrastran otros contaminantes que afectan a la categoría de toxicidad humana, con mayor impacto ambiental obtenido en los resultados. Estos contaminantes son las dioxinas, furanos y metales pesados. Para mejorar el impacto ambiental, estos residuos sólidos, obtenidos y depositados en la planta tras la incineración de RSU deberán tener un tratamiento específico posterior,

antes de reciclarlos como materiales de relleno en carreteras o para otros usos en la industria de la construcción.

La cantidad de energía eléctrica producida a partir de la incineración de los RSU se ha evitado de producir mediante el mix eléctrico de la ciudad que utiliza el fuel para la generación de electricidad. Por lo tanto podemos concluir que nuestra planta incineradora presenta un mejor ahorro ambiental cuando recupera energía para producir electricidad.

Los potenciales impactos medioambientales de la incineradora de RSU con recuperación de energía dependen, en gran medida, del tipo de energía eléctrica evitada según el mix eléctrico local considerado, de la forma de energía recuperada (electricidad, calor o ambos simultáneamente) y de los RSU tratados.

El uso de los materiales auxiliares presenta el peor perfil medioambiental en la categoría de agotamiento de ozono (67 %), en la eco-toxicidad terrestre (57 %), en el cambio climático (54 %) y en la toxicidad acuática (57 %).

Entre los materiales auxiliares con mayor impacto ambiental debido a su uso en la planta incineradora de RSU destacamos el gasoil en la categoría de agotamiento abiótico (100 %). Proponemos reducir su consumo mejorando el poder calorífico inferior (PCI) de los RSU (p. ej. mediante su fermentación), y disminuyendo el número de paradas de planta.

La urea también tiene un perfil medioambiental alto, En la categoría de formación de foto-oxidantes su contribución al impacto ambiental debido al uso de materiales auxiliares es de 65%. Por lo tanto sería conveniente estudiar una alternativa a este agente reductor como p. ej., el amoníaco (NH_3). De esta manera se siguen reduciendo los NO_x pero presenta menor impacto ambiental. Incluso estudiar cambiar el proceso de reducción de NO_x , la Reducción No Catalítica Selectiva (SNCR), utilizado en este trabajo, por otro de mejor eficacia como la reducción catalítica selectiva (SCR).

El consumo eléctrico de la planta presenta el mayor perfil ambiental en las categorías de agotamiento de combustibles fósiles y de acidificación. El 74% de los impactos ambientales de la incineradora en la categoría de agotamiento de recursos abióticos procede del consumo eléctrico de la planta. El mayor impacto ambiental generado por la incineradora de RSU en la categoría de agotamiento de combustibles fósiles recae sobre el consumo eléctrico de la misma (91 %). Esto sucede sólo en paradas y arranques de planta. Los impactos ambientales generados por el consumo eléctrico se deben al mix eléctrico local que es a base de fuel.

Las emisiones de ácido clorhídrico (HCl) y de dióxido de azufre (SO₂) emitidos durante el proceso de incineración de RSU son contaminantes que contribuyen a la acidificación que en los resultados presenta uno de los peores perfiles medioambientales. Durante el proceso de incineración de RSU hemos visto que estas emisiones se disparan con la quema de residuos plástico. Por lo tanto se debería reciclar este tipo de residuos.

Los resultados de este ACV pueden contribuir a:

- La toma de decisiones relacionadas con las políticas nacionales de residuos
- Los planes locales de gestión de residuos
- Las mejoras tecnológicas en la implantación de nuevos incineradores

Las administraciones públicas de nuestro país, basadas en el rechazo de colectivos ciudadanos y ecologistas, son muy restrictivas a la hora de conceder autorizaciones para la construcción de nuevas instalaciones de incineración y de coincineración³⁰ de residuos. Esperamos que este trabajo contribuya a lograr animar las autoridades para aumentar el número de instalaciones de valorización energética de los

³⁰ El Real Decreto 815/2013 define como instalación de **coincineración** a "toda instalación fija o móvil cuya finalidad principal sea la generación de energía o la fabricación de productos materiales y que, o bien utilice residuos como combustible habitual o complementario, o bien los residuos reciban en ella tratamiento térmico para su eliminación mediante la incineración por oxidación de los residuos, así como por otros procesos de tratamiento térmico, si las sustancias resultantes del tratamiento se incineran a continuación, tales como pirólisis, gasificación".

RSU, como ocurre en países de nuestro entorno como Francia, Alemania y Holanda (Capítulo 5).

7.2. Futuras líneas de investigación

Al finalizar la investigación, se ha identificado aspectos relacionados con la misma que serían susceptibles de ser abordados en investigaciones posteriores, ya que su profundización complementaría o ampliaría aspectos que surgen de forma tangencial o consecutiva al desarrollo de esta tesis:

- En este trabajo se han evaluado los impactos producidos por las instalaciones en las distintas etapas descritas en el diagrama de flujos de la Figura 6.2. Sería también importante estudiar en futuros trabajos, por separado, los impactos de las distintas partes que componen cada una de dichas etapas en otros tipos de incineradoras.
- El caso que nos ocupa es un incinerador de RSU que usa la tecnología de horno de parrilla y depurador semi-seco de los gases de emisiones. Sería interesante realizar la comparación de impacto ambiental de incineradores que utilizan diferentes tecnologías, para poder declinarse por la opción que presente mejor perfil ambiental.
- Comparar los impactos medioambientales de una incineradora de RSU, considerando diferentes sistemas de tratamiento de los óxidos de nitrógeno (NO_x).
- Abordar la sensibilidad de los potenciales impactos ambientales en función de la variación de los distintos factores de emisión específicos de la incineradora de RSU.
- Comparar los impactos ambientales de los dos sistemas de tratamiento de escoria existente en numerosas planta incineradoras modernas:

- *Sistema que nos ocupa:* que usa un extractor, cintas transportadoras, electroimán para la separación de la chatarra y criba de los residuos minerales.
 - *Otro sistema:* consiste en verter la escoria directamente desde el horno a un foso aséptico, del que se recoge mediante grúas para su posterior tratamiento.
- Evaluar los impactos medioambientales de incineradoras de otro tipo de residuos: residuos peligrosos, biomasa, lodos, etc, y compararlos con otras alternativas existentes de tratamiento de este tipo de residuos, como son el vertido, compostaje, tratamiento anaerobio, tratamiento químico, etc.
- Estudiar los impactos medioambientales de las escorias resultantes de la incineración de RSU, utilizadas en la construcción de carreteras.
- Desarrollar un método de balance de la caracterización de los RSU que se envían a la incineración para calcular la fracción renovable. Se trata de diferenciar entre el carbono de origen fósil y el de origen biogénico. Las emisiones producidas por la combustión de la fracción biodegradable de los residuos se consideran neutras a efectos de su contribución sobre el cambio climático.
- Comparar la energía ahorrada por reciclaje de material con la energía generada con la incineración de residuos.

Bibliografía

Referencias

- AEVERSU. Asociación Empresarial de Valorización Energética de RSU, 2015. <http://www.aeversu.org/index.php/es/quienes-somos/empresas> (15/10/2015)
- AGUAYO GONZALEZ, F.; PERALTA ALVAREZ, M.; LAMA RUIZ, J. R.; SOLTERO SANCHEZ, V. M., 2011. *“Ecodiseño. Ingeniería sostenible de la cuna a la cuna (C2C)”*. RC Libros. ISBN: 978-84-938312-6-4. Madrid, España.
- AMANN, M.; COFALA, J.; HEYES, C.; KLIMONT, Z., AND SCHÖPP, W., 1999. The RAINS Model: *“A Tool for Assessing Regional Emission Control Strategies in Europe”*. Pollution Atmosphérique 4. Paris, France.
- ARANDA USON, A.; ZABALZA BRIBIAN, I.; MARTINEZ GARCIA, A; VALERO DELGADO, A; SCARPELLINI, S. 2006. “El análisis del ciclo de vida como herramienta de gestión empresarial”. ISBN: 84-96169-74-X. Depósito legal: M-4057-2006. Apartado 3.7. Páginas 91-92.
- AURREKOETXEA, J.J.; SAENZ, J.R.; RODRIGUEZ, C., 2011. Documento de síntesis. *“Asesoría de riesgos para la salud de una planta de valorización energética de RSU en Bilbao”*. Universidad del País Vasco.
- BALDASANO RECIO, J. M., 2001. Revista nº 29 Medi Ambient. *“La incineración de residuos: ¿es una alternativa?”*. DL: B-44071-91. ISSN: 1130-4022. Generalitat de Catalunya.
- BARE, J.; GLORIA, T.; NORRIS, G. 2006. *“Development of the Method and U.S. Normalization Database for Life Cycle Impact Assessment and Sustainability Metrics”*. Environ Sci Techol 40 (16): 5108-5115.
- BENÍTEZ ESCUDERO, V. 2013. Primer seminario de análisis del ciclo de vida en México. Universidad Autónoma de Mexico. <http://www.iingen.unam.mx/es-mx/Publicaciones/GacetaElectronica/GacetaSeptiembre2013/Paginas/Analisisciclodevida.aspx> (25/09/2015)
- BEYLOT, ANTOINE; VILLENEUVE, JACQUES., 2013. *“Environmental impacts of residual Municipal Solid Waste incineration: A comparison of 110 French incinerators using a life cycle approach”*. Waste Management 33 (2013) 2781–2788. Elsevier Ltd. All rights reserved. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.07.003> (15/08/2015)

- BIANCHI, F.; FRANCHINI, M.; LINZALONE, N.; PIERINI, A.; RIAL, M.; VOGOTTI, M., 2003. “*Geographical study on environment and health status in an area around a municipal waste incinerator*”, Pisa Italy. XXI Reunión de la Sociedad Española de Epidemiología, Toledo. Gac Sanit; 17(S2).
- BUTTOL, P.; MASONI, P.; BONOLI, A.; GOLDONI, S.; BELLADONNA, V., AND CAVAZZUTI, C., 2007. “*LCA of integrated MSW management systems: Case study of the Bologna District*,” Waste Management, vol. 27, pp. 1059-1070.
- BVSDE (Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental), 2004. Tipos de hornos. Emisiones a la atmosfera y correcciones. [http://www.bvsde.paho.org/cgi-bin/wxis.exe/iah/?IsisScript=iah%2Fiah.xis&lang=e&form=F&nextAction=extsearch&base=Textos_Completos&conectSearch=and&exprSearch=%28Tipos+de+hornos%28%28%28id_es%2Bid_IlusEs%29%2B%28id_en%2Bid_IlusEn%29%2B%28id_pt%2Bid_IlusPt%29%2B%28id_fr%2Bid_IlusFr%29%2B%28id_de%2Bid_it%29%29%29%29%28tc%2F%28916%29%29&label=Tipos+de+hornos&backPage=%2Fsde%2Fops-sde%2Fbvsde%2Ffiltro.php%3Fbanner%3D%26filtro%3D%26nextFILE%3D\(12/11/2015\)](http://www.bvsde.paho.org/cgi-bin/wxis.exe/iah/?IsisScript=iah%2Fiah.xis&lang=e&form=F&nextAction=extsearch&base=Textos_Completos&conectSearch=and&exprSearch=%28Tipos+de+hornos%28%28%28id_es%2Bid_IlusEs%29%2B%28id_en%2Bid_IlusEn%29%2B%28id_pt%2Bid_IlusPt%29%2B%28id_fr%2Bid_IlusFr%29%2B%28id_de%2Bid_it%29%29%29%29%28tc%2F%28916%29%29&label=Tipos+de+hornos&backPage=%2Fsde%2Fops-sde%2Fbvsde%2Ffiltro.php%3Fbanner%3D%26filtro%3D%26nextFILE%3D(12/11/2015))
- CE (Comisión Europea), 2006. Reglamento (CE) N° 199/2006 de la Comisión de 3 de febrero de 2006 que modifica el Reglamento (CE) N° 466/2001 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios por lo que se refiere a dioxinas y PCB similares a dioxinas.
- CEWEP (Confederation of European waste to energy plants), 2015. Waste-to-Energy & Recycling. <http://www.cewep.eu/information/recycling/index.html> (24/10/2015)
- CEWEP MAP 2014 (Confederation of European waste to energy plants), http://www.cewep.eu/information/data/studies/m_1459 (15/09/2015)
- CEWEP REPORT 2012 (Confederation of European waste to energy plants), country report 2010-2011 Spain. http://www.cewep.eu/information/data/subdir/984._Country_Reports_on_Waste_Management.html (10/10/2015)

- CHERUBINI, F.; BARGIGLI, S., AND ULGIATI, S., 2009. "Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration," *Energy*, vol. 34, , pp. 2116-2123.
- CHERUBINI, F.; BARGIGLI, S.; ULGIATI, S., 2008. "*Life cycle assessment of urban waste management: energy performances and environmental impacts. The case of Rome, Italy*". *Waste Management* 28, 2552–2564.
- CML (Center of Environmental Science of Leiden University), 2015. <http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html> (03/10/2015)
- COGERSA (Compañía para la Gestión de los Residuos Sólidos en Asturias), 2011. [http://www.cogersa.es/metaspaces/portal/14498/18746-planta-de-valorizacion-energetica-\(incineradora\)?pms=1,48602,50045004,view,normal,0](http://www.cogersa.es/metaspaces/portal/14498/18746-planta-de-valorizacion-energetica-(incineradora)?pms=1,48602,50045004,view,normal,0) (05/09/2015)
- CONSOLI, F. et al., 1993. Guidelines for Life-Cycle Assessment: A "Code of Practice". Documento del workshop celebrado en Sesimbra (Portugal). SETAC-Europe, Bruselas, 1993. (citado en Fullana, P.; Puig, R., 1997).
- CONSONNI, S.; GIUGLIANO, M., AND GROSSO, M., 2005. "*Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste Part B: Emission and cost estimates*," *Waste Management*, vol. 25, pp. 137-148.
- CORDIER, S.; CHEVRIER, C.; ROBERT-GNANSIA, E.; LORENTE, C.; BRULA, P.; HOURS, M., 2004. "*Risk of congenital anomalies in the vicinity of municipal solid waste incinerators*". *Occup Environ Med*; 61(1):8-15.
- CRANA (Fundación Centro de Recursos Ambientales de Navarra), 2016. http://www.crana.org/es/contaminacion/mas-informacion_3/axidos-nitrigeno-nox-no2. (19/01/2016)
- DAMGAARD, A.; RIBER, C.; FRUERGGAARD, T.; HULGAAR, T.; CHRISTENSEN T. H. 2010. "*Life-cycle-assessment of the historical development of air pollution control and energy recovery in waste incineration*". *Waste Management* 30, 1244–1250.
- DOMINGO, J. L.; GRANERO, S.; SCHUHMACHER, M., 1997. "*Niveles de dioxinas en alimentos: estimación de la ingesta a través de la dieta en Tarragona*". *Residuos*; (38):66-71.

- DUMMER, T. J. B.; DICKINSON, H. O.; PARKER, L., 2003. “*Adverse pregnancy outcomes around incinerators and crematoriums in Cumbria, north west England, 1956-93*”. J Epidemiol Community Health; 57(6):456-461.
- DUMMER, T. J.; DICKINSON, H. O.; PARKER, L., 2003. “*Prevalence of adverse pregnancy outcomes around hazardous industrial sites in Cumbria, north-west England, 1950-93*”. Paediatr Perinat Epidemiol; 17(3):250-255.
- ECLTD (ENVIROS CONSULTING LTD), 2004. University of Birmingham. “*Review of environmental and health effects of waste management: municipal solid waste and similar wastes*”: extended summary. London: Department for Environment, Food and Rural Affairs. Product code PB9052A
- ECOINVENT, 2015. <http://www.ecoinvent.org/database/ecoinvent-version-3/ecoinvent-version-3.html> (11/10/2015)
- ECONOMIA CIRCULAR, 2015. <http://economyacircular.org/> (15/07/2015)
- ECOPROG. 2015. Study waste to energy 2015/2016. Background. <http://www.ecoprogram.com/en/publications/waste-industry.htm> (13/10/2015)
- ELLIOTT, P.; BRIGGS, D.; MORRIS, S.; DE HOOGH, C.; HURT, C.; JENSEN, T. K. et al., 2001. “*Risk of adverse birth outcomes in populations living near landfill sites*”. BMJ 2001; 323(7309):363-368.
- ELLIOTT, P.; HILLS, M.; BERESFORD, J.; KLEINSCHMIDT, I.; JOLLEY, D. et al., 1992. “*Incidence of cancers of the larynx and lung near incinerators of waste solvents and oils in Great Britain*”. Lancet; 339(8797):854-858.
- ENVIRONNEMENT, S.A., 2014. MIR 9000 – analyseur multi-gaz IR-GFC. http://www.environnement-sa.fr/products-page/fr/mesure_emissions_industrielles/mir-9000/?cat=32 (27/09/2015)
- ENVIRONNEMENT, S.A., 2015. SEC sampling system – dry permeation technique. <http://www.environnement-sa.com/?s=sec&lang=en> (27/09/2015)
- EPA. (Environmental Protection Agency), 2000. “*Controles de NOx en la combustión*”. Office of Research and Development. Research Triangle Park, NC 27711, Octubre del 2000. EPA 452/B-02-002. USA.
- EPA. (Environmental Protection Agency), US. 2001. “*Tecnología de Control de Contaminantes del Aire*”. EPA-452/F-03-028.

- EPA.SA (Environment Protection Authority in South Australia), 2004. “Photochemical smog —what it means for us”. EPA 90/04.
- EUROSERVER 2014. Renewable municipal waste barometers. <http://www.euroserv-er.org/renewable-municipal-waste-barometers-2014/> (23/11/2015)
- EUROPEAN COMMISSION, 2005. “*Integrated Pollution Prevention and Control*”: Draft Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, European Commission Directorate – General Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla. <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/> (25/10/2015)
- EUROPEAN COMMISSION, 2006. “Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration”. Integrated Pollution Prevention and Control.
- EUROSTAT., 2014. Municipal waste generation and treatment, by type of treatment method. <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=tsdpc240&language=en> (30/11/2015)
- FLOR GRANDA, M., 2006. Tesis Doctoral: “*Estudio experimental de las escorias de incineración de RSU. aplicación en capas ligadas de firmes tratadas con cemento*”. Universitat Politècnica de de Catalunya.
- FRANKE, M.; HINDLE, P.; WHITE, P.R. et al, 1995. “*Integrated solid waste management: a life cycle inventory*”. Ed. Blackie Academic & Professional. ISBN 0-632-05889-7
- FRISCHKNECHT, R.; JUNGBLUTH, N.; ALTHAUS, H.J.; DOKA, G.; DONES, R.; HISCHIER, R.; HELLWEG, S.; HUMBERT, S.; MARGNI, M.; NEMECEK, T.; SPIELMANN, M. 2007. “*Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods*”: Data v2.0. ecoinvent report No. 3, Swiss centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland.
- FUKUDA, Y.; NAKAMURA, K.; TAKANO, T., 2003. “*Dioxins released from incineration plants and mortality from major diseases: an analysis of statistical data by municipalities*”. J Med Dent Sci; 50(4):249-255.

- GARCÍA CEBALLOS, L., 2013. Tesis Ddoctoral. “*Análisis del ciclo de vida de puntos de luz de alumbrado exterior*”. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Málaga.
- GIRARDI, P., 2003. “*Life Cycle Assessment: struttura e finalità*”. Seminario LCA e sue applicazioni, Politecnico di Milano, Milan, Italy, 12 May 2003.
- GREENDELTA, 2015. Consultoría alemana de sostenibilidad y software de empresa. <https://nexus.openlca.org/databases> (20/11/2015)
- GUINÉE, J.B.; GORRÉE, M.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; KLEIJN, R.; KONING, A. DE; OERS, L. VAN; WEGENER SLEESWIJK, A.; SUH, S.; UDO DE HAES, H.A.; BRUIJN, H. DE; DUIN, R. VAN; HUIJBREGTS, M. A. J., 2002. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. Part III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 692 pp.
- HEIJUNG, R.; GUINÉE, J. B.; HUPPES, G.; LANKREIJER, R. M.; UDO DE HAES, H. A.; WEGENER SLEESWIJK, A., 1992. “*Environmental life cycle assessment of products*”. ISBN 90-5191-064-9
- HONG, R. J.; WANG, G. F.; GUO, R. Z.; CHENG, X.; LIU, Q.; ZHANG, P. J., AND QIAN, G.R., 2006. “*Life cycle assessment of BMT-based integrated municipal solid waste management: Case study in Pudong, China,*” Resources, Conservation and Recycling, vol. 49, 2006, pp. 129-146.
- HUNG, MING-CHIEN; NING, SHU-KUANG; CHOU, YA-HSUAN, 2011. “*Environmental Impact Evaluation for Various Incinerator Patterns by Life Cycle Perspective: A Case Study in Taiwan*” . 2011 2nd International Conference on Environmental Science and Technology. IPCBEE vol.6 (2011) © IACSIT Press, Singapore.
- HU, S. W.; HAZUCHA, M.; SHY, C. M., 2001. “*Waste incineration and pulmonary function: an epidemiologic study of six communities*”. J Air Waste Manag Assoc 2001; 51(8):1185-1194.
- HU, S. W.; SHY, C. M., 2001. “*Health effects of waste incineration: A review of epidemiologic studies*”. J Air Waste Manage Assoc 2001; 51(7):1100-1109.
- IARC (International Agency for Research on Cancer), 1997. Polychlorinated dibenzo-para-dioxins and polychlorinated dibenzofurans. IARC Monographs on the

- evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol. 69. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 1997. ISBN 92 8321269 X
- ICAC (Institute of Clean Air Companies)., 2008. SNCR committee. “*Selective non-catalytic reduction for controlling NOx emissions*”. http://www.icac.com/resource/resmgr/Standards_WhitePapers/SNCR_Whitepaper_Final.pdf?hhSearchTerms=%22cardinal+and+plant%22 (24/10/2015)
 - IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2011. “*Situación y potencial de valorización energética directa de residuos*”. Estudio Técnico PER 2011-2020.
 - IHOBE (Soc. Pública Vasca de Gest. Ambiental), 2000. *Manual práctico de ecodiseño. Operativa de implantación en 7 pasos*. IHOBE S.A. Bilbao. <http://www.ihobe.eus/Publicaciones/ficha.aspx?IdMenu=750e07f4-11a4-40da-840c-0590b91bc032&Cod=414a18ef-dd57-4b40-8746-407d517f7bda&Idioma=es-ES&Tipo=> (13/11/2015)
 - IHOBE (Soc. Pública Vasca de Gest. Ambiental), 2009. “*Análisis de ciclo de vida y huella de carbón. Dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto*”. IHOBE S.A., Bilbao. <http://www.ihobe.eus/Paginas/Ficha.aspx?IdMenu=c5e31d77-0bba-401c-9b9a-f10a42dac57e&Idioma=es-ES> (11/08/2015)
 - INTI., (Instituto Nacional de Tecnología e Industrial)., Argentina., 2011. “*Informe: de los RSU a la energía renovable en Europa*”. <http://www.inti.gob.ar/e-renova/erBI/er19.php> (01/11/2015)
 - JALÓN, M.; URIETA, I.; MACHO, M. L.; AZPIRI, M., 1997. “*Vigilancia de la contaminación química de los alimentos en la Comunidad Autónoma del País Vasco: 1990-1995*”. Vitoria-Gasteiz: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. ISBN: 84-457-1137-7
 - JANSSON, B.; VOOG, L., 2004. “*Dioxin from Swedish municipal incinerators and the occurrence of cleft lip and palate malformations*”. *Intr J Environ Stud*; 34:99-104.
 - JIMÉNEZ, B.; HERNÁNDEZ, L. M.; GONZÁLEZ, M. J.; ELJARRAT, E.; CAIXACH, J.; RIVERA, J. 1995. “*Levels of PCDDs and PCDFs in serum*

- samples of non exposed individuals living in Madrid (Spain)*". Organohalogen Compounds; 26:249-253.
- KNOX, E., 2000. "*Childhood cancers, birthplaces, incinerators and landfill sites*". Int J Epidemiol; 29(3):391-397.
 - LEE, S. H.; CHOI, K. I.; OSAKO, M., AND DONG, J. I., 2007. "*Evaluation of environmental burdens caused by changes of food waste management systems in Seoul, Korea,*" Science of the Total Environment, vol. 387, pp. 42-53.
 - LIAMSANGUAN, C., AND GHEEWALA, S. H., 2008. "*LCA: A decision support tool for environmental assessment of MSW management systems,*" Journal of Environmental Management, vol. 87, pp. 132-138.
 - MARAM, R. M.; TOSHIYA, A., AND KEISUKE, H., 2004. "*Comparison of the environmental impact of incineration and landfilling in São Paulo City as determined by LCA,*" Resources, Conservation and Recycling, vol. 41, , pp. 47-63.
 - MCDOUGALL, F.; WHITE, P.; FRANKE, M., 2001. "*Integrated Solid Waste Management: Life Cycle Inventory*", second ed. Blackwell Science Ltd., Oxford, United Kingdom. ISBN: 978-0-632-05889-1
 - MF. (Ministerio de Fomento), 2012. MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICA. Ficha técnica. Clave 4.3. Escorias y cenizas de incineradora de residuos sólidos urbanos (rsu). 2012.
 - MICHELOZZI, P.; FUSCO, D.; FORASTIERE, F.; ANCONA, C.; DELL'ORCO, V. et al., 1998. "*Small area study of mortality among people living near multiple sources of air pollution*". Occup Environ Med; 55(9):611-615.
 - MMA. (Ministerio de Medio Ambiente), 2015. PNIR (Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015).
 - MMA. (Ministerio de Medio Ambiente), 2016. Problemática ambiental y contaminantes. <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/>. (20/01/2016)
 - MMA. (Ministerio de Medio Ambiente), 2005. 2.5. Residuos. Perfil Ambiental de España. 2005.

- MMA. (Ministerio de Medio Ambiente), 2011. Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para Incineración de Residuos. Documento BREF. ISBN: 978-84-491-1147-1.
- MORSELLI, L., MASONI, P., LUZI, J., PASSARINI, F., MEZZOGORI, R., 2002. *“Processes for hazardous waste recycling and inertization”*, In: Proceedings of ISWA World Congress and Fair, Istanbul, Turkey, July 8–12, 2002, vol. 1, pp. 257–262.
- MORSELLI, L.; BARTOLI, M.; BERTACCHINI, M.; BRIGHETTI, A.; LUZI, J.; PASSARINI, F., AND MASONI, P., 2004. *“Tools for evaluation of impact associated with MSW incineration: LCA and integrated environmental monitoring system,”* Waste Management, vol. 25, pp. 191-196.
- MORSELLI, L.; LUZI, J.; DE ROBERTIS, C.; VASSURA, I.; CARRILLO, V., AND PASSARINI, F., 2007. *“Assessment and comparison of the environmental performances of a regional incinerator network,”* Waste Management, vol. 27, pp. S85-S91. ISSN 0956-053X. Published by Elsevier Ltd. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2007.02.021>
- MORSELLI, L.; ROBERTIS, C. D.; LUZI, J.; PASSARINI, F. AND VASSURA, I., 2008. *“Environmental impacts of waste incineration in a regional system (Emilia Romagna, Italy) evaluated from a life cycle perspective,”* Journal of Hazardous Materials, vol. 159, pp. 505-511.
- NING, SHU-KUANG; CHANG, NI-BIN; HUNG MING-CHIEN, 2013. *“Comparative streamlined life cycle assessment for two types of municipal solid waste incinerator”*. Journal of Cleaner Production 53 (2013) 56-66.
- NIVELCO CHALCO, J.P; UGALDE PACHECO, 2011. Tesis de grado. *“Diseño de un sistema de extracción de polvo para la empresa INSOMET”*. Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca. Ecuador.
- OBI-OSIUS, N.; MISSELWITZ, B.; KARMAUS, W.; WITTEN, J., 2004. *“Twin frequency and industrial pollution in different regions of Hesse, Germany”*. Occup Environ Med; 61(6):482-487.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), 2002. OECD Environmental Data Compendium, Public Affairs Division. OECD, Paris, France.

- OMS (Organización Mundial de la salud), 2014. Las dioxinas y sus efectos en la salud humana. Nota descriptiva N°225. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs225/es/> (15/11/2015)
- OSIUS, N.; KARMAUS, W.; KRUSE, H.; WITTEN, J., 1999. “*Exposure to polychlorinated biphenyls and levels of thyroid hormones in children*”. Environ Health Perspect; 107(10):843-849.
- PRE CONSULTANTS. 2015. Empresa holandesa de consultoría. <https://www.pre-sustainability.com/> (07/10/2015)
- QUASS, ULRICH; FERMAN, MICHAEL; BRÖKER, GÜNTER. 2000. “*The European Dioxin Emission Inventor Stage II*”. DG ENV 96/771/3040/DEB/E1. Germany.
- REAP, J.; ROMAN, F.; DUNCAN, S.; BRAS, B., 2008. “*A survey of unresolved problems in lifecycle assessment t. Part 2: Impact assessment and interpretation*”. International Journal of Life Cycle Assessment 13, 374–388.
- REBITZER, G.; EKVALL, T.; FRISCHKNECHT, R.; HUNKELER, D.; NORRIS, G.; RYDBERG, T.; SCHMIDT, W. P.; SUH, S.; WEIDEMA, B. P., AND PENNINGTON, D.W., 2004. “*Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications*,” Environment International, vol. 30, , pp. 701-720.
- RENOU, S.; THOMAS, J.S.; Aoustin, E.; PONS, M.N., 2008. “*Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA*”. Original research Article Journal of Cleaner Production, Volume 16, Issue 10, July, Pages 1098-1105.
- RIBER, CHRISTIAN; BHANDER, GURBAKHASH S.; CHRISTENSEN, THOMAS H., 2008. “*Environmental assessment of waste incineration in a life-cycle-perspective*”. Copyright © ISWA 2008. ISSN 0734–242X. Waste Management & Research. 2008: 26: 96–103
- RIGAMONTI, L.; GROSSO, M.; GIUGLIANO, M., 2009. “*Life cycle assessment for optimising the level of separated collection in integrated MSW management systems*”. Waste Management 29, 934–944.
- RINI, M. J.; NICHOLSON, J. A., AND COHEN, M. B., 1993. “*Evaluating the SNCR Process for Tangentially-Fired Boilers*”. Presented at the 1993 Joint

- Symposium on Stationary Combustion NO_x Control, Bal Harbor, Florida. May 24 - 27.
- ROSENBAUM, R. K.; BACHMANN, T. M.; SWIRSKY GOLD, L.; HUIJBREGTS, M. A. J.; JOLLIET, O.; JURASKE, R.; KOEHLER, A.; LARSEN, H. F.; MACLEOD, M.; MARGNI, M.; MCKONE, T. E.; PAYET, J.; SCHUHMACHERM VAN DEMEENT, D.; HAUSCHILD, M. Z., 2008. USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: “*Recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in Life Cycle Impact Assessment*”. Int J Life Cycle Assess 13:532–546.
 - SÁNCHEZ GELABERT, J. I.; NÚÑEZ NAVARRO, E.; NAVALÓN MADRIGAL, P.; VALOR HERENCIA, I., 2008. “*Compuestos orgánicos persistentes en la región de murcia (i): pesticidas organoclorados - PCBs - dioxinas y furanos*”. Dep. Legal: MU-2.208-2008. I.S.B.N.: 978-84-691-6378-8.
 - SCHECTER, A.; GASIEWICZ, T. A., 2003. “*Dioxins and health*”. 2nd. ed. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience,.
 - SCHUHMACHER, M.; DOMINGO, J. L.; LLOBET, J. M.; LINDSTROM, G.; WINGFORS, H. 1999. “*Dioxin and dibenzofuran concentrations in blood of a general population from Tarragona, Spain*”. Chemosphere; 38(5):1123-1133.
 - SCIPIONI, A.; MAZZI, A.; NIERO, M., AND BOATTO, T., 2009. “*LCA to choose among alternative design solutions: The case study of a new Italian incineration line,*” Waste Management, vol. 29, , pp. 2462-2474. ISSN 0956-053X. Elsevier Ltd. All rights reserved. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2009.04.007> (10/08/2015)
 - SIRUSA (Servei d'incineració de residus urbans SA), 2009. Incineración de residuos urbanos. Efectos medioambientales y sobre la salud (I y II).
 - SLEESWIJK, ANNEKE WEGENER; VAN OERS LAURAN, F. C. M.; GUINÉE JEROEN, B.; STRUIJS, JAAP; HUIJBREGTS, MARK A. J., 2008. “*Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000*”. Science of The Total Environment, Volume 390, Issue 1, 1 February 2008, Pages 227-240.
 - SOGAMA (Sociedad Gallega de Medio Ambiente), 2015. <http://www.sogama.es/es/info/incineracion-con-recuperacion-de-energia>

- STAESSEN, J. A.; NAWROT, T.; HOND, E. D.; THIJS, L.; FAGARD, R. et al., 2001. “Renal function, cytogenetic measurements, and sexual development in adolescents in relation to environmental pollutants: a feasibility study of biomarkers”. *Lancet*; 357(9269):1660-1669.
- SUNA ERSER YAY, A., 2015. “Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya”. *Journal of Cleaner Production* 94 (2015) 284-293.
- TECPA, 2015. Consultoría, formación continua, medio ambiente, Sostenibilidad. “*Software para elaborar ACV*”. <http://www.tecpa.es/software-para-elaborar-analisis-de-ciclo-de-vida-acv/> (20/11/2015)
- UNECE (The United Nations Economic Commission for Europe). 2011. <http://www.unece.org/> (22/11/2015)
- UNED (Universidad Nacional de Educación a Distancia), 2016. “*Gestión y tratamiento de los residuos urbanos*”. <http://www.uned.es/biblioteca/rsu/pagina1.htm>. (19/01/2016)
- VRIJHEID, M.; DOLK, H.; ARMSTRONG, B.; ABRAMSKY, L.; BIANCHI, F.; FAZARINC, I. et al., 2002. “*Chromosomal congenital anomalies and residence near hazardous waste landfill sites*”. *Lancet*; 359(9303):320-322.

Normativas vigentes

Marco normativo del ACV

- UNE-EN-ISO 14040. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia. Diciembre 2006.
- UNE-EN-ISO 14044. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices. Diciembre 2006. La ISO 14044 sustituyó a ISO 14041, 14042 y 14043.
- UNE-EN-ISO 14006:2011. Sistemas de gestión ambiental. Directrices para la incorporación del eco-diseño.
- UNE-ISO/TR 14062:2007 IN. Gestión ambiental. Integración de los aspectos ambientales en el diseño y desarrollo de productos.

Normativa vigente en materia de residuos

- Decisión 2012/795/UE por la que se establecen el tipo, el formato y la frecuencia de la información que deben comunicar los Estados miembros sobre la aplicación de la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre las emisiones industriales.
- Decisión 2014/955/UE de la Comisión, de 18 de diciembre de 2014 , por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE, sobre la lista de residuos, de conformidad con la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.
- Directiva 1999/31/CE del Consejo de 26 de abril de 1999 relativa al vertido de residuos.
- Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre los residuos, de 19 de noviembre de 2008.
- Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales.
- Directiva 2015/1127/UE de la comisión de 10 de julio de 2015 por la que se modifica el anexo II de la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.
- Ley 5/2013 modifica Ley 16/2002 de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley de Residuos y Suelos Contaminados (IPPC).
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados
- Real Decreto 1304/2009, de 31 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante el depósito en vertedero.
- Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- Reglamento (CE) N° 199/2006 de la Comisión de 3 de febrero de 2006 que modifica el Reglamento (CE) N° 466/2001 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios por lo que se refiere a dioxinas y PCB similares a dioxinas.

Normativa vigente en materia de energías renovables

- Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.
- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.